Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра Інженерія вагонів та якість продукції

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРЕЦИЗІЙНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ.175.25.07.00. ПЗ

Розробив:
здобувач групи 218-ЯСС-Д23
спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

_____ Олександр ІЛЬГОВ
(підпис)

Керівник:
доцент кафедри, канд. техн. наук, доцент
Ганна КОМАРОВА

Рецензент:
кандидат технічних наук,
старший викладач
Людмила ВОЛОШИНА

2025

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Механіко-енергетичний»
Кафедра «Інженерія вагонів та якість продукції»
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність:175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВ та ЯП,
професор, д-р техн. наук

_____ І.Е.Мартинов
(підпис) (ініціали і прізвище)
« » 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра

Ільгову Олександру Євгеновичу

1. Тема: «Розробка методики калібрування для підвищення контролю якості прецизійного інструменту» керівник: Комарова Ганна Леонідівна затверджена розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від “30” вересня 2024 року № 41.
2. Строк подання студентом роботи “30”грудня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи: законодавчі та нормативні акти України, які регламентують вимоги систем якості та компетентності калібрувальних лабораторій (ДСТУ EN ISO 9000; 9001; ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019), наукова та навчально-методична література по темі дослідження, статут підприємства; інформація про розвиток існуючого підприємства; внутрішня звітність, статистична звітність, матеріали переддипломної практики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ; 1 . Теоретичні основи точності прецизійного інструменту; 2 Аналіз сучасних методів підвищення точності; 3 Калібрування прецизійних інструментів: основи, специфіка та розробка процедур; 4 Розробка проекту методики калібрування «Нутроміри індикаторні» та рекомендацій щодо підвищення точності вимірювальних інструментів на ПНВП "МІКРОТЕХ»; Висновки.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: 1 Актуальність і цілі дослідження; 2 Сфера діяльності “МІКРОТЕХ”; 3 Загальна структура методології вимірювання та випробування; 4 Основні елементи процесу вимірювання; 5 Види контрольно-вимірювального інструменту; 6 Види нутромірів; 7 Огляд існуючих методів калібрування; 8 Проблемні області та обмеження поточних підходів; 9Впровадження сучасних інформаційних технологій в процес калібрування (Internet–enabled metrology); 10 Розробка нових методик калібрування; 11 Адаптація до європейських стандартів; 12 Запропонована методика калібрування; 13 Заключення та рекомендації; Висновки.

6. Дата видачі завдання 30.09.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Проаналізувати теоретичні основи точності прецизійного інструменту, визначити основні фактори, що впливають на точність вимірювань, а також класифікацію і застосування прецизійних інструментів, зокрема нутромірів	01.10 - 15.10	
2	Вивчити сучасні методи підвищення точності прецизійного інструменту, включаючи існуючі технології та їх недоліки в контексті калібрування нутромірів на ПНВП "МІКРОТЕХ".	16.10– 25.10	
3	Розробити проект методики калібрування нутромірів, що відповідає сучасним вимогам і стандартам, а також рекомендації щодо її впровадження у виробничі процеси "МІКРОТЕХ"	26.10 – 05.11	
4	Оцінити вплив розроблених рекомендацій на якість продукції та продуктивність виробничих процесів, а також сформулювати рекомендації щодо їх інтеграції у виробничу практику "МІКРОТЕХ	06.11 – 25.11	
5	Формулювання висновків магістерської роботи	26.11– 30.11	
6	Перевірка на плагіат	01.12-10.12	
7	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	11.12– 20.12	
8	Нормоконтроль та отримання рецензії на магістерську роботу	21.12 -30.12	

Магістрант Олександр ІЛЬГОВ

Керівник роботи Ганна КОМАРОВА

АНОТАЦІЯ

О.Є. Ільгов. Кваліфікаційна магістерська робота другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: **«Розробка методики калібрування для підвищення контролю якості прецизійного інструменту»** включає в себе 15 слайдів презентації, 118 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 16 рисунків, 1 таблицю, 37 літературних джерел.

Ключові слова: КАЛІБРУВАННЯ, ПРЕЦИЗІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТ, НУТРОМІРИ ІНДИКАТОРНІ, ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, ISO 17025, МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ.

Магістерська робота присвячена дослідженню теоретичних та практичних аспектів підвищення точності вимірювань у виробничих умовах шляхом удосконалення методик калібрування прецизійного інструменту.

Метою даної роботи є розробка проекту методики калібрування нутромірів, спрямованої на підвищення точності вимірювань, забезпечення відповідності міжнародним стандартам якості та вдосконалення процесів контролю у виробничій практиці ПНВП "МІКРОТЕХ.

Об'єктом дослідження є процес підвищення точності прецизійного інструменту в умовах сучасного виробництва.

У роботі проаналізовано сучасні підходи до забезпечення точності вимірювань, визначено основні фактори, що впливають на точність роботи прецизійного інструменту, та обґрунтовано необхідність впровадження ефективних методик калібрування для контролю якості.

На основі аналізу міжнародних стандартів (ISO 17025, ISO 9001) розроблено методику калібрування нутромірів, що включає послідовність процедур, вимоги до умов виконання робіт, використання еталонів та засобів вимірювання. Запропонована методика дозволяє підвищити точність вимірювань, знизити похибки та забезпечити стабільність результатів контролю.

Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження розробленої методики на підприємствах для оптимізації процесів контролю якості, зменшення витрат на повторні перевірки та забезпечення відповідності продукції вимогам стандартизації та сертифікації.

Результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем метрологічного забезпечення виробництва, автоматизації процесів калібрування та розробки методик для інших типів прецизійних інструментів.

ANNOTATION

O.Ye. Ilhov. The qualifying master's thesis for the second (master's) level of higher education titled: **"Development of a Calibration Methodology to Improve the Quality Control of Precision Instruments"** includes 15 presentation slides, 118 A4 pages of the explanatory note containing 16 figures, 1 table, and 37 references.

Keywords: CALIBRATION, PRECISION INSTRUMENT, INDICATOR BORE GAUGES, MEASUREMENT ACCURACY, QUALITY CONTROL, STANDARDIZATION, ISO 17025, CALIBRATION METHODOLOGY.

The master's thesis focuses on the study of theoretical and practical aspects of improving measurement accuracy in production conditions by enhancing calibration methodologies for precision instruments.

The aim of this work is to develop a calibration methodology project for indicator bore gauges aimed at improving measurement accuracy, ensuring compliance with international quality standards, and enhancing control processes in the production practices of "MICROTECH" PE.

The object of the study is the process of improving the accuracy of precision instruments in modern manufacturing conditions.

The thesis analyzes contemporary approaches to ensuring measurement accuracy, identifies the main factors influencing the precision of measuring instruments, and substantiates the need for implementing effective calibration methodologies to ensure quality control.

Based on the analysis of international standards (ISO 17025, ISO 9001), a calibration methodology for indicator bore gauges has been developed, which includes a sequence of procedures, requirements for operating conditions, and the use of reference standards and measuring instruments. The proposed methodology improves measurement accuracy, reduces errors, and ensures stability in control results.

The practical value of this work lies in the possibility of implementing the developed methodology at enterprises to optimize quality control processes, reduce costs for repeated inspections, and ensure compliance of products with standardization and certification requirements.

The results of the study can be used for further improvement of manufacturing metrological support systems, automation of calibration processes, and the development of methodologies for other types of precision instruments.

Зміст

Вступ 8

1 1. Теоретичні основи точності прецизійного інструменту 12

1.1. Визначення точності та її значення у вимірювальних процесах 12

1.2 Основні фактори, що впливають на точність вимірювань 16

1.3 Класифікація прецизійного інструменту та його застосування 19

1.4 Нутроміри: принципи роботи та їх роль у забезпеченні точності вимірювань 25

2 Аналіз сучасних методів підвищення точності 31

2.1 Огляд методів та технологій, що використовуються для підвищення точності 31

2.2 Порівняння ефективності різних підходів до контролю точності 37

2.3 Концептуальні основи вдосконалення технологій вимірювання та контролю якості 37

3 Калібрування прецизійних інструментів: основи, специфіка та розробка процедур 44

3.1 Основи калібрування: визначення, принципи та значення у контролі якості 44

3.2 Практичні аспекти та значення простежуваності, калібрування та невизначеності вимірювань 47

3.3 Розробка процедур калібрування для різних типів прецизійних інструментів 51

3.4 Впровадження сучасних інформаційних технологій в процес калібрування (Internet–enabled metrology) 58

4 Калібрування прецизійних інструментів: основи, специфіка та розробка процедур 62

4.1 Аналіз вимог ISO/IEC 17025:2017 до методик вимірювання/випробування 62
4.2 Специфіка калібрування нутромірів у виробничих умовах «МІКРОТЕХ» 71
4.3. Вибір стандартних еталонів та вимірювальних приладів для калібрування 77
4.4 Розробка практичних рекомендацій для підвищення точності інструменту та перспективи впровадження методик калібрування на “МІКРОТЕХ” 81
Висновки 86
Список використаних джерел 88
Додаток А 92
Додаток Б 118

Вступ

Українська промисловість має величезний потенціал для розвитку в умовах євроінтеграції. Це відкриває нові можливості для інвестицій та розширення співпраці з європейськими партнерами. Підприємства отримують доступ до нових технологій, кращих умов для збуту продукції та можливості впровадження інноваційних рішень у виробничі процеси. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності та забезпеченню сталого економічного зростання.

Водночас, підприємствам необхідно адаптувати свої виробничі процеси та продукцію до вимог європейських стандартів. Це включає вдосконалення систем контролю якості, впровадження нових методик вимірювань та калібрування, а також модернізацію виробничого обладнання. Перехід на міжнародні стандарти якості відкриває нові ринки збуту та підвищує довіру до української продукції з боку міжнародних споживачів.

Таким чином, розвиток української промисловості в умовах євроінтеграції є важливим завданням, яке вимагає комплексного підходу та активної співпраці з європейськими партнерами. Це дозволить підприємствам не лише зберегти конкурентоспроможність, але й закласти фундамент для подальшого розвитку у глобальному ринку.

Ключовим аспектом, що впливає на якість продукції, є точність прецизійного інструменту, який використовується для вимірювання та контролю геометричних параметрів виробів. Прецизійні інструменти, такі як нутроміри, забезпечують контроль розмірних характеристик деталей, що безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Зниження точності вимірювань може призвести до збільшення дефектів, втрати часу на переробки та зниження конкурентоспроможності продукції. Вдосконалення методів вимірювання є невід’ємною частиною виробничого процесу.

Розробка нової методики калібрування нутромірів дозволить підвищити точність вимірювального обладнання та забезпечити відповідність продукції

високим стандартам якості. Калібрування є ключовим етапом у забезпеченні надійності та точності вимірювальних процесів, що впливає на якість контролю продукції. Багато українських підприємств ще використовують застарілі методи калібрування, що обмежує їх можливості на міжнародному ринку.

Для українських підприємств актуально перейти на міжнародні стандарти якості, такі як ISO та EN, щоб виходити на ринки Європи та інших країн. Це вимагає модернізації виробничих процесів, удосконалення методик вимірювань та калібрування. Точність індикаторних вимірювальних інструментів, зокрема нутромірів, є критичним аспектом у забезпеченні високої якості продукції та підвищенні продуктивності. Розробка нової методики калібрування допоможе підприємствам зменшити похибки та поліпшити контроль якості.

Актуальність дослідження визначається необхідністю адаптації виробничих процесів до сучасних вимог ринку та підвищення якості продукції в умовах глобальної конкуренції. Використання прецизійного інструменту з високою точністю вимірювань стає особливо важливим для тих підприємств, які прагнуть зберегти свої позиції на ринку та відповідати вимогам міжнародних стандартів.

Розробка нової методики калібрування нутромірів є завданням, спрямованим на вдосконалення технологій контролю якості продукції та підвищення її конкурентоспроможності. Дослідження розглядає сучасні методи калібрування, аналізує їхні недоліки та пропонує нові рішення для підвищення точності вимірювань. Це сприятиме зростанню ефективності виробничих процесів відповідати сучасним міжнародним стандартам якості.

Отже, в умовах складної економічної ситуації та необхідності відповідати вимогам міжнародного ринку, розробка нових методик калібрування нутромірів є актуальним завданням. Це дозволить підприємствам зберегти конкурентоспроможність та закласти фундамент для подальшого розвитку.

Об'єкт дослідження: процес підвищення точності прецизійного інструменту в умовах сучасного виробництва.

Предмет дослідження: методика калібрування нутромірів та рекомендації щодо вдосконалення точності вимірювань.

Метою даної роботи є розробка проекту методики калібрування нутромірів, спрямованої на підвищення точності вимірювань, забезпечення відповідності міжнародним стандартам якості та вдосконалення процесів контролю у виробничій практиці ПНВП "МІКРОТЕХ.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- ✓ Проаналізувати теоретичні основи точності прецизійного інструменту, визначивши основні фактори, що впливають на точність вимірювань, а також класифікацію і застосування прецизійних інструментів, зокрема нутромірів.
- ✓ Вивчити сучасні методи підвищення точності прецизійного інструменту, включаючи існуючі технології та їх недоліки в контексті калібрування нутромірів на ПНВП "МІКРОТЕХ".
- ✓ Розробити проект методики калібрування нутромірів**,** що відповідає сучасним вимогам і стандартам, а також рекомендації щодо її впровадження у виробничі процеси ПНВП "МІКРОТЕХ".
- ✓ Визначити концептуальні основи вдосконалення технологій вимірювання та контролю якості**,** зокрема вибір еталонів та вимірювальних приладів для калібрування.
- ✓ Оцінити вплив розроблених рекомендацій на якість продукції та продуктивність виробничих процесів, а також сформулювати рекомендації щодо їх інтеграції у виробничу практику ПНВП "МІКРОТЕХ.

Методи дослідження:у магістерській роботі використані різноманітні методи дослідження, зокрема: аналіз наукової літератури для вивчення теоретичних аспектів точності прецизійного інструменту та калібрування нутромірів; емпіричні дослідження для проведення калібрування у виробничих умовах; математичне моделювання для прогнозування впливу факторів на точність вимірювань; експертні оцінки для отримання рекомендацій від фахівців у метрології; порівняльний аналіз існуючих методів калібрування для виявлення

їх переваг і недоліків; а також системний підхід для комплексного аналізу етапів розробки методики. Ці методи дозволили всебічно дослідити тему та надати практичні рекомендації щодо підвищення точності вимірювань у сучасному виробництві.

Наукова новизна роботи полягає у розробці нової методики калібрування нутромірів, що сприятиме зменшенню похибок вимірювань та підвищенню точності інструменту. Практична значущість полягає у тому, що запропоновані методи можуть бути інтегровані у виробничу практику, що дозволить суттєво підвищити якість продукції та покращити показники ефективності виробництва.

Практична значущість цієї магістерської роботи полягає у розробці методики калібрування нутромірів, що сприяє підвищенню точності вимірювань у виробничих процесах. Рекомендації щодо інтеграції розроблених рішень у виробничу практику допоможуть підприємствам оптимізувати контроль якості, знизити витрати на виправлення дефектів продукції та забезпечити відповідність міжнародним стандартам. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення існуючих методів вимірювання та контролю якості, що в свою чергу підвищить конкурентоспроможність українських підприємств на міжнародному ринку. Розроблена методика та рекомендації можуть також стати основою для подальших досліджень у галузі метрології та виробництва, сприяючи розвитку інноваційних технологій в Україні.

Апробація результатів роботи: Основні положення магістерської роботи були висвітлені у тезах доповіді «Розробка методики калібрування для підвищення контролю якості презиційного інструменту» на 84 студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ (м. Харків, 2024) [33].

1. Теоретичні основи точності прецизійного інструменту

1.1. Визначення точності та її значення у вимірювальних процесах

Вимірювання – це один з найважливіших шляхів пізнання природи людиною. Вони дають кількісну характеристику навколишнього світу, розкриваючи закономірності в природі.

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та ДСТУ 2681-94 [1, 2]:

Вимірювання – відображення фізичних величин їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів. У цьому визначенні закладені такі головні ознаки поняття «вимірювання» (рис. 1.1):

- Вимірювати можна властивості реально існуючих об’єктів пізнання – фізичні величини;

- Вимірювання вимагає проведення дослідів, тобто теоретичні міркування чи розрахунки не замінять експеримент;

- Результатом вимірювання є фізична величина, що відображає значення вимірюваної величини.

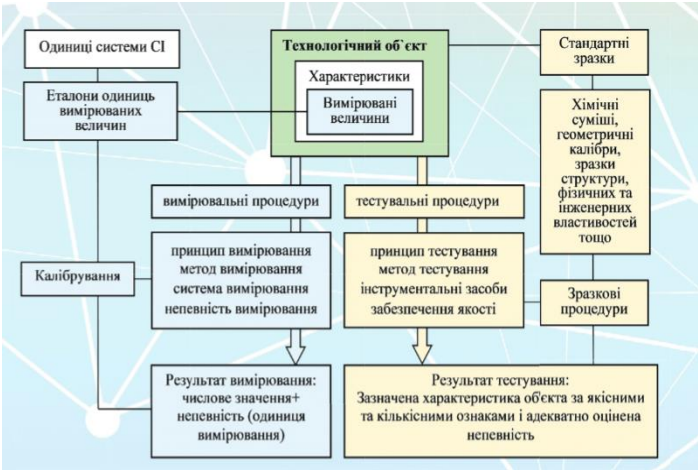


Рисунок 1.1- Загальна структура методології вимірювання (світло-синій колір) та випробування (світло-коричневий колір)

Метрологія – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. У філософському аспекті вимірювання є універсальним методом пізнання фізичних явищ і процесів. Це особливо підкреслює значимість метрології серед інших наук, яка водночас тісно переплітається з ними та обслуговує їх.

В технічних (промислових) вимірюваннях параметрів технологічних процесів метрологія слугує основою для забезпечення якості виготовлюваної продукції, товарів та надаваних послуг. З огляду на це вона є одним із центральних моментів науково-технічного забезпечення впровадження систем четвертої технічної революції «Промисловість 4.0» (рис.1.2).

Рисунок 1.2 – Етапи промислових революцій

Терміном «Промисловість 4.0» позначається сучасна тенденція автоматизації та обміну даними в технологіях виробництва. Вона включає в себе кібер-фізичні системи, Інтернет речей, хмарні обчислення та пізнавальні обчислення (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 – «Промисловість 4.0»

У рамках цієї революції важливими стають інноваційні підходи до вимірювання, що забезпечують не лише точність, але й автоматизацію процесів, інтеграцію даних і управління ними в реальному часі.

Наявність точної та достовірної інформації про параметри виробництв є критично важливою для прийняття рішень щодо оптимізації технологічних процесів, зменшення витрат і підвищення конкурентоспроможності підприємств. Використання сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект та великі дані, потребує високої точності вимірювань і їх безперервного контролю. Це підкреслює значення метрологічного забезпечення як основи для успішної реалізації промислових інновацій.

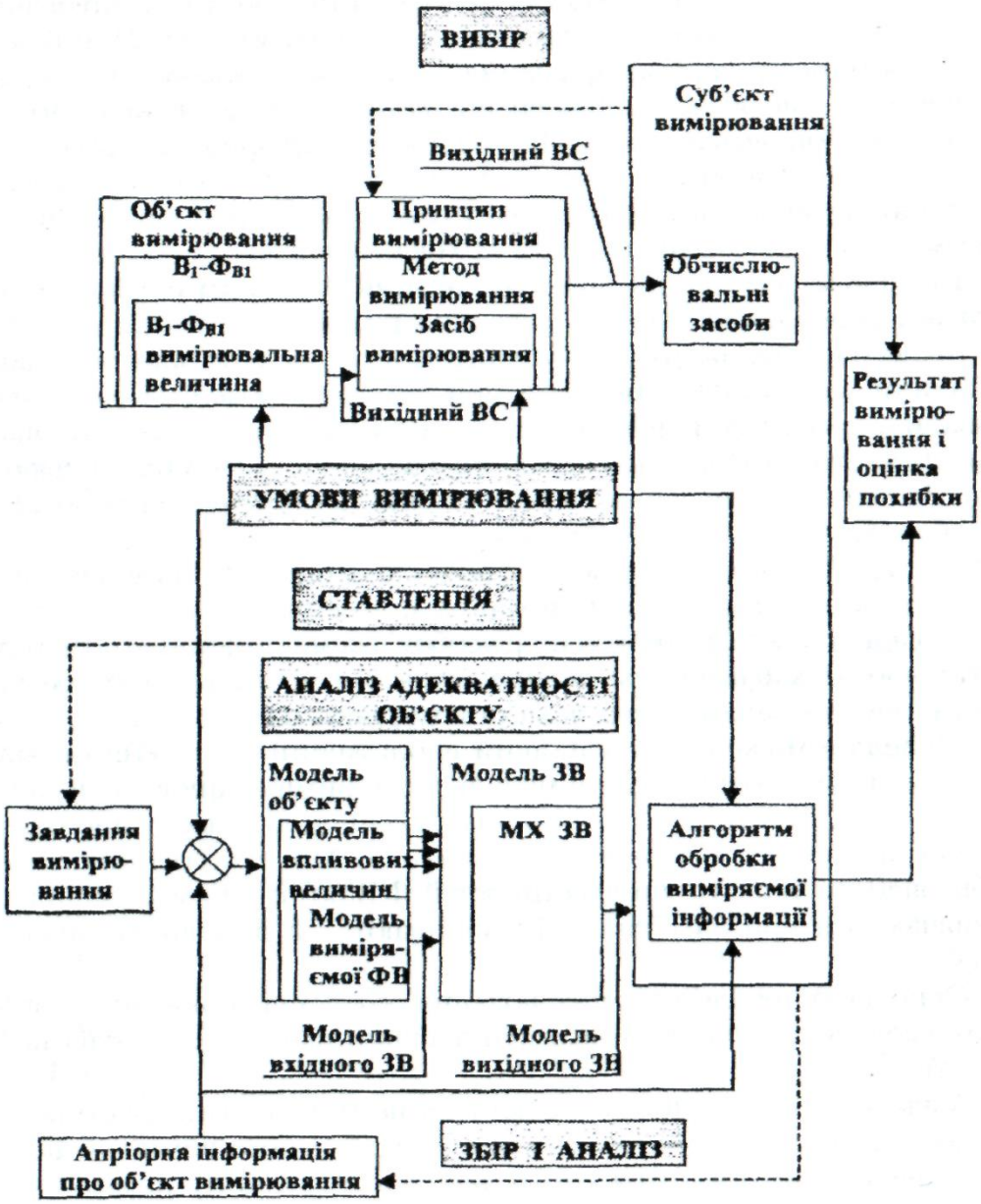
Точність вимірювань є ключовим параметром у сфері метрології, що визначає рівень відповідності отриманих даних істинним значенням вимірюваної величини. Вона охоплює кілька аспектів: правильність, яка відображає близькість результату до істинного значення, і прецизійність, що вказує на здатність вимірювальної системи забезпечити однакові результати при повторних вимірюваннях. Це робить точність критично важливою для ефективності будь-якого вимірювального процесу, особливо у виробничих умовах, де невідповідність вимогам точності може призводити до браку та економічних втрат.

Вимірювальний процес — це комплекс операцій, пов'язаних з отриманням значення фізичної величини, і точність цього процесу визначається рядом параметрів, таких як систематичні та випадкові похибки, чутливість приладів, стабільність вимірювань, а також правильність застосованої методики вимірювань. Крім цього, важливими є зовнішні фактори, такі як температурні умови, вологість та вібрація, які можуть суттєво вплинути на кінцевий результат вимірювання (рис. 1.4).

У вимірювальних процесах можна виділити два основних види вимірювання: пряме та непряме. Пряме вимірювання передбачає безпосереднє визначення величини за допомогою відповідного приладу, тоді як непряме вимірювання ґрунтується на обчисленнях, що проводяться на основі ряду

вимірювань.

Наприклад, визначення об'єму тіла може здійснюватися через вимірювання його розмірів, що потім підлягають математичним обчисленням. Ці два підходи є важливими у контексті вимірювання точності, оскільки вони можуть суттєво впливати на результат в залежності від обраної методики.



ЗВ — засіб вимірювань, МХ - метрологічна характеристика,
ВС — вимірювальні сигнали, ФВ — фізична величина, В — властивість.

Рисунок 1.4 - Основні елементи процесу вимірювання

1.2 Основні фактори, що впливають на точність вимірювань

Одним з вирішальних факторів, які визначають точність вимірювань є точність засобів вимірювань.

Точність засобу вимірювань – характеристика якості засобу вимірювань, яка вказує на близькість його похибки до нуля. Вважається, що, чим менша похибка, тим точніше засіб вимірювань.

Точність засобів вимірювань залежить не тільки від точності їх градуїровки, але і від деяких властивостей, які визначаються наявністю рухомої частини. Однією з причин варіації показів є тертя в опорах рухомої частини приладу.

Точність вимірювальних приладів характеризується сумарною похибкою, тобто похибкою, в яку входить похибка градуїровки і подгонки, а також змінні похибки, варіації та інші. Оскільки змінні похибки змінюються в певних границях, то можна визначити границі сумарних похибок вимірювальних приладів.

Аналіз факторів, що впливають на точність вимірювань, є критично важливим для забезпечення високої якості вимірювальних процесів. Основні фактори, які можуть вплинути на точність вимірювання, включають:

1. Клас точності приладів – різні прилади мають різний рівень точності, що визначає їхню здатність до точних вимірювань.
2. Умови експлуатації – температура, вологість, атмосферний тиск і інші параметри навколишнього середовища можуть впливати на результати вимірювань.
3. Стан об'єкта вимірювання – характеристики самого об'єкта можуть впливати на результати, особливо якщо він має нерівності, забруднення чи інші дефекти.
4. Методика вимірювання – вибір методу вимірювання та відповідність еталона можуть визначити точність отриманих даних.

5. Людський фактор – помилки оператора, які можуть виникати через недостатнє навчання або невірне використання приладів, також істотно впливають на точність.

Метрологічне забезпечення, яке включає в себе організаційні та технічні заходи для досягнення високої якості вимірювальних процесів, є невід'ємною частиною забезпечення точності. Системи калібрування та атестації вимірювальних інструментів дозволяють мінімізувати похибки та стандартизувати результати вимірювань. Це особливо важливо в умовах сучасного виробництва, де на перший план виходить автоматизація процесів та впровадження цифрових технологій. Автоматизовані системи контролю якості дозволяють обробляти великі обсяги даних у реальному часі та зменшувати вплив людського фактору на точність вимірювань.

Технічні характеристики, які впливають на результати і точність вимірювань, називають метрологічними характеристиками ЗВТ.

Виокремлюють такі групи метрологічних характеристик:

1. Градуювальні характеристики - визначають співвідношення між сигналами на вході і виході ЗВТ у статичному режимі (статичний режим роботи ЗВТ реалізується, коли вихідний сигнал є незмінним під час вимірювань).

2. Динамічні характеристики - відображають інерційні властивості ЗВТ внаслідок дії на них змінних у часі зовнішніх впливів, вхідного сигналу, навантаження (притаманні ЗВТ у динамічному режимі роботи, коли вхідний сигнал змінюється під час вимірювань).

3. Показники точності.

4. Функції впливу, тобто залежність зміни метрологічних характеристик від зміни зовнішніх умов.

Щоб оцінити точність вимірювання, порівняти ЗВТ між собою з метою вибору тих, які забезпечать необхідну точність, здійснити взаємозаміну ЗВТ, на метрологічні характеристики встановлено норми.

Нормування метрологічних характеристик – це встановлення номінальних значень і границь допустимих відхилень реальних метрологічних характеристик

ЗВТ від їхніх номінальних значень.

Номенклатура нормованих метрологічних характеристик є більшою для приладів з підвищеною точністю. Норми на характеристики наведено у експлуатаційній документації на прилад. Відповідність метрологічних характеристик за визначеними нормами необхідно перевіряти. Метрологічні характеристики контролюються щодо відповідності регламентованих значень як експериментальними, так і розрахунковими методами.

Перевірка метрологічною установою відповідності метрологічних характеристик нормам і встановлення на цій підставі придатності ЗВТ до застосування називають повіркою.

До нормованих метрологічних характеристик відносять такі:

1. Розмах шкали засобу вимірювальної техніки. Він вибирається зі стандартного ряду шкал для відповідних вимірюваних величин.

2. Межі допустимої похибки засобу вимірювальної техніки нормуються приведеною похибкою, яка відповідає його класу точності.

3. Основні похибки засобу вимірювальної техніки відповідно до нормативно-технічної документації для відповідного засобу.

4. Додаткові похибки. Вони визначаються для кожної з величин, що впливають на вимірювання, відповідно до нормативно-технічної документації, а також регламентуються межі цих похибок.

Додаткові похибки регламентуються зазвичай для нових або закордонних засобів вимірювань, які використовуються у промисловості.

5. Час проведення вимірювання фізичної величини чи технологічного параметра.

6. Термін експлуатації засобів вимірювальної техніки.

Облік усіх нормованих метрологічних характеристик здійснюють тільки для засобів особливо високої точності. Для робочих засобів користуються узагальненою характеристикою всіх засобів цього типу, яка встановлює оцінку знизу точності їхніх показів (граничне значення допустимої похибки). Цю характеристику називають класом точності ЗВТ.

Точність вимірювань безпосередньо впливає на якість продукції та конкурентоспроможність підприємства. Зменшення похибок під час вимірювань дозволяє забезпечити відповідність продукції вимогам міжнародних стандартів, що особливо актуально в умовах євроінтеграції та глобальної конкуренції. Високі стандарти точності стають необхідністю для інтеграції в європейський ринок та виходу на світовий рівень.

Отже, точність вимірювань є критично важливим аспектом метрології, що забезпечує якість даних і, відповідно, прийняття обґрунтованих рішень у різних сферах діяльності. Підвищення точності вимірювань залежить від врахування численних факторів, які повинні бути систематизовані та проаналізовані для досягнення найкращих результатів. Дотримання норм і стандартів, а також застосування сучасних технологій, є необхідними для забезпечення єдності вимірювань і якості продукції.

1.3 Класифікація прецизійного інструменту та його застосування

Прецизійний інструмент є основою для забезпечення точності та надійності вимірювань у технологічних процесах різних галузей. Точність вимірювань, яка забезпечується такими інструментами, є критичною для досягнення високих стандартів якості продукції та відповідності технічним регламентам. Прецизійні інструменти застосовуються в метрології, виробництві, будівництві, медичних дослідженнях та багатьох інших сферах, де вимірювання є важливим елементом процесу контролю та управління якістю.

Прецизійний інструмент — це вимірювальний прилад або засіб контролю, який характеризується високою точністю вимірювань. Такі інструменти необхідні в технологічних процесах, що вимагають мінімальних похибок, особливо у машинобудуванні, виробництві деталей високої складності та інших галузях інженерії.

Класифікація прецизійного (вимірювального) інструменту (рис. 1.5):

Прецизійний інструмент можна класифікувати за різними ознаками, включаючи принцип дії, область застосування, метод вимірювання та інші технічні характеристики. Нижче подана детальніша класифікація з прикладами.

За принципом дії:

- Механічні прецизійні інструменти: це інструменти, що базуються на механічних системах і мають аналоговий спосіб відображення результатів (штангенциркуль — механічний прилад для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів, який широко застосовується в машинобудуванні та металообробці).

Рисунок 1.5- Приклади вимірювального інструменту

- Електронні прецизійні інструменти: працюють на базі електронних схем, які дозволяють проводити вимірювання з високою точністю, а результати відображаються на цифрових екранах (цифровий мікрометр — електронний вимірювальний інструмент для точної оцінки лінійних розмірів деталей, особливо в умовах виробництва).
- Оптичні прецизійні інструменти: використовують оптичні системи для високоточних вимірювань(лазерний далекомір — використовується для визначення відстані на основі відбитого лазерного променя, що дозволяє досягти високої точності).

За способом вимірювання: Прямі вимірювання**:** інструменти, що забезпечують безпосереднє вимірювання фізичних величин (Лінійка або рулетка — дозволяють проводити вимірювання довжини з точністю до міліметрів).

- Непрямі вимірювання: використовуються для обчислення величини на основі інших вимірюваних параметрів(ваги з обчисленням об'єму — вимірюють масу предмета і дозволяють розраховувати його об'єм через щільність).

За типом вимірюваної величини:

- Лінійні вимірювання: прилади для вимірювання лінійних розмірів (довжини, товщини, висоти)(мікрометр для вимірювання товщини деталей з точністю до мікронів).
- Кутові вимірювання: прилади для вимірювання кутів (кутомір — використовується для точного визначення кута нахилу в різних конструкціях).
- Вимірювання тиску: прилади для вимірювання сили тиску рідин або газів(манометри для вимірювання тиску в трубопроводах, системах опалення, холодильних установках).
- Температурні вимірювання: прилади, що визначають температуру середовища (пірометр — безконтактний інструмент для вимірювання температури нагрітих поверхонь).

За галуззю застосування: Промислові вимірювальні інструменти**:** призначені для використання у виробничих умовах для контролю якості продукції (калибри — стандартизовані інструменти, що використовуються для контролю точності виробів на виробничих лініях).

- Науково-дослідницькі інструменти: забезпечують високу точність вимірювань у наукових експериментах (хроматографи — застосовуються в хімічних дослідженнях для визначення складу речовин з високою точністю).
- Медичні інструменти: забезпечують точність вимірювань фізіологічних параметрів у медицині (МРТ-сканери — дозволяють отримати точні зображення внутрішніх органів для діагностики).

- Будівельні інструменти: використовуються для вимірювань під час будівельних робіт (лазерні рівні — допомагають вирівнювати конструкції та встановлювати їх у горизонтальне або вертикальне положення).

Прецизійний інструмент можна класифікувати за такими категоріями:

1. Штангенциркулі — використовуються для вимірювання зовнішніх і внутрішніх діаметрів, глибини, довжин і ширин деталей. Приклад: штангенциркуль з нониусом або цифровий. Призначення: точність вимірювань до 0,01 мм.

2. Мікрометри — забезпечують високу точність при вимірюванні зовнішніх розмірів деталей. Сюди входять зовнішні мікрометри, внутрішні мікрометри та глибиноміри. Призначення: точність до 0,001 мм.

3. Індикаторні нутроміри — спеціалізовані інструменти для вимірювання внутрішніх діаметрів отворів. Вони використовуються для контролю точності виготовлення циліндричних і конічних отворів.

Призначення: вимірювання внутрішніх отворів з точністю до 0,01 мм.

Типи: індикаторні нутроміри з механічним або цифровим індикатором.

4. Кутоміри — прилади для точного вимірювання кутів між поверхнями або площинами. Призначення: забезпечують точність вимірювання до кількох кутових секунд.

5. Калібри — використовуються для контролю відповідності деталей певним розмірам. Можуть бути циліндричними, кільцевими, гладкими або різьбовими. Призначення: контроль допустимих відхилень розмірів деталей.

6. Лінійки та штангенрейсмаси — точні інструменти для вимірювання довжини та відстаней між поверхнями з високою точністю.

1.3.1 Нормативне регулювання та метрологічне забезпечення

При аналізі та розробці методик калібрування були використані посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

EA – 4/02 M:2022 Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні.

Керівництво по розрахунку невизначеності:

DIN EN ISO 3650 Geometrical Product Specifications (GPS) – Length standards – Gauge Blocs.

ILAC-P14:09/2020 Политика ILAC щодо невизначеності при калібруванні

ISO 13385-1 Geometrical Product Specifications (GPS) – Dimentional measuring equipment- Part 1 Callipers Design and metrological characteristics

ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005 Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення

ДСТУ ГОСТ ИСО 5725–2:2005 Точність (правильність прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності і відтворюваності стандартного методу вимірювання.

ДСТУ ГОСТ 4119:2009 Наборы принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам длины. Технические условия.

ДСТУ ГОСТ 4381:2009 ГСИ. Микрометры рычажные. Общие технические условия.

ДСТУ ГОСТ 9038:2009 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия

СТП МК 09.06.003 МТУ Зразки шорсткості «МІКРОТЕХ». Технічні умови.

СТП МК 13.09.002 МТУ Кільця установчі «МІКРОТЕХ». Технічні умови.

Інструкція щодо експлуатування Мікроскопи універсальні вимірювальні.

СТП МК 15.07.012 МТУ Щупи «МІКРОТЕХ». Технічні умови.

ТУ У 33.2-30291682-002-2004 Мікрометри «МІКРОТЕХ». Технічні умови.

СТП МК 15.11.038 МТУ Нутроміри індикаторні «МІКРОТЕХ» . Технічні умови

СТП МК 15.11.038-1 МТУ Нутроміри індикаторні «МІКРОТЕХ». Технічні умови

СТП МК 15.07.009 МТУ Стенд «МІКРОТЕХ» для калібрування індикаторів і нутромірів.

СТП МК 05.07.001 МТУ Лінійки розмічальні. Технічні умови.

СТП МК 06.10.005 МТУ Стенд випробувальний для динамометрів вертикального розташування ИСМ-2 («МІКРОТЕ»). Технічні умови.

СТП МК 09.06.002 МТУ Лінійки повірочні («МІКРОТЕХ»). Технічні умови.

СТП МК 15.10.016 МТУ Динамометри («МІКРОТЕХ»). Технічні умови.

Законодавчі акти України:

- Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» — Встановлює правові основи для забезпечення єдності вимірювань в Україні, визначає порядок метрологічного контролю та калібрування засобів вимірювальної техніки [1].
- Технічний регламент засобів вимірювальної техніки — Визначає вимоги до засобів вимірювальної техніки, які повинні відповідати європейським директивам, таким як MID (Measuring Instruments Directive) [5].

Прецизійні інструменти є важливою складовою сучасних технологічних процесів, які забезпечують необхідну точність вимірювань для досягнення високої якості продукції. Різноманіття типів і класів цих інструментів дозволяє використовувати їх у широкому спектрі галузей, від промисловості до науки та медицини.

Точність і надійність таких вимірювань є критичним фактором для конкурентоспроможності підприємств на міжнародних ринках, особливо в умовах глобальної інтеграції та впровадження новітніх стандартів якості та метрологічного забезпечення.

1.4 Нутроміри: принципи роботи та їх роль у забезпеченні точності вимірювань

Нутромір – це прецизійний інструмент визначення розмірів пазів, отворів і внутрішніх поверхонь виробів методами абсолютного чи відносного виміру.

Такі вимірювальні інструменти, як нутроміри, призначені для того, щоб з високою точністю проводити вимірювання внутрішніх розмірів різних деталей та механізмів. Вони широко використовуються в машинобудівній галузі під час виробництва найбільш відповідальних деталей та вузлів.

Коли проводиться вимірювання зовнішнього розміру, саме вимірювальний пристрій розташовується поза деталі, а якщо вимірюється розмір внутрішній, то воно розташовується всередині неї або повністю, або частково. Через це у переважній більшості випадків конструкція приладів, призначених для проведення внутрішніх вимірювань, суттєво складніша, ніж тих, що використовуються для вимірювання зовнішніх розмірів. Дуже часто вони забезпечуються спеціалізованими додатковими механізмами або перетворювачами, які необхідні для того, щоб переводити переміщення, що здійснюються вимірювальними наконечниками, показання відлікових пристроїв. Останні зазвичай розташовуються у місці, зручному для спостереження.

Вимірювання внутрішніх розмірів отворів – процедура складніша, ніж вимірювання зовнішніх параметрів деталей. Найбільші труднощі виникають при вимірі точних отворів малого діаметра, довгих отворів та відхилень форми отворів. Тому засоби та методи вимірювань внутрішніх розмірів мають певні особливості. При вимірі зовнішніх розмірів прилад знаходиться поза деталі, при вимірі внутрішніх розмірів або повністю прилад, або його вимірювальні наконечники повинні бути всередині деталі, що вимірюється. Це в більшості випадків призводить до більш складної конструкції приладів для внутрішніх вимірювань, тим більше, що потрібен додатковий механізм або перетворювач для

перетворення переміщення вимірювальних наконечників показання відлікового пристрою, що розташовується в зручному для спостереження місці. При вимірі отворів поверхня, що вимірюється, має увігнуту форму. Це визначає форму і радіус вимірювальних наконечників (зазвичай сферичну з радіусом, суттєво меншим за радіус отвору). При вимірі внутрішніх розмірів зазвичай потрібні складніші дії для поєднання лінії вимірювання з діаметром отвору як у площині, що проходить через вісь отвору, так і в перпендикулярній площині. Через це при внутрішніх вимірах виникають додаткові похибки, що знижують точність виміру. проходить через вісь отвори, так і в перпендикулярній площині. Через це при внутрішніх вимірах виникають додаткові похибки, що знижують точність виміру. проходить через вісь отвори, так і в перпендикулярній площині. Через це при внутрішніх вимірах виникають додаткові похибки, що знижують точність виміру.

Основні параметри, які вимірюють нутроміри:

1. Внутрішні діаметри отворів — це основне завдання нутромірів. Вони дозволяють точно вимірювати внутрішні розміри циліндричних, конічних та інших складних отворів. Це є критично важливим для забезпечення точності в таких процесах, як виробництво циліндричних втулок, підшипників, гільз, деяких компонентів двигунів та гідравлічних систем.

2. Глибина отворів — спеціалізовані нутроміри можуть вимірювати глибину внутрішніх порожнин, що є важливим при виготовленні деталей з високою точністю глибини, наприклад, при виробництві точних гільз, гнізд для підшипників або деталей з важливими посадковими площинами.

3. Циліндричність та овальність — нутроміри використовуються для перевірки, наскільки отвір відповідає ідеальній циліндричній формі, а також для оцінки овальності, що впливає на рівномірний розподіл навантаження та тертя між рухомими частинами.

4. Концентричність — нутроміри дозволяють перевіряти, чи співпадають осі різних отворів або посадкових поверхонь. Це важливий показник

для деталей, що працюють під високими навантаженнями або обертанням, наприклад, в підшипниках або турбінах.

Види нутромірів та їх застосування:

- Механічні нутроміри — це найбільш поширений тип нутромірів, який використовує індикаторну шкалу для зчитування результатів вимірювань. Вони можуть застосовуватися для широкого спектру вимірювань, оскільки їх конструкція дозволяє вимірювати різні внутрішні діаметри з високою точністю. Механічні нутроміри часто використовуються в важких виробничих умовах завдяки їх надійності та простоті в обслуговуванні (рис.1.6).

Рисунок 1.6 - Індикатор стрілочного типу 0-10 мм/0,01 мм REWOLT (T4071)

- Внутроміри мікрометричні - призначені для вимірювання внутрішніх розмірів абсолютним методом (рис.1.7). Їх ще називають штихмаси. За своїм пристроєм типовий мікрометричний нутромір схожий на мікрометр, який використовується для проведення зовнішніх вимірювань і складається з таких складових частин, як мікрометрична головка, вимірювальні наконечники і комплект подовжувачів.

- Згідно з прийнятими та діючими стандартами, мікрометричні нутромери мають межі вимірювань 50–75, 75–175, 75–600, 150–1250, 800–2500, 1500–4000 міліметрів [3.5].

Рисунок 1.7 - Нутроміри мікрометричні

- Цифрові нутроміри — сучасні пристрої, що використовують електронні датчики для вимірювань, забезпечують миттєве відображення результатів на цифровому дисплеї. Такі нутроміри дозволяють проводити більш швидке і точне вимірювання, мінімізуючи людську похибку, що є особливо важливим в умовах масового виробництва або коли необхідно проводити часті повторні вимірювання (рис.1.8).

Рисунок 1.8 - Нутромір індикаторний цифровий

Роль нутромірів у виробничих процесах:

Забезпечення точності вимірювань за допомогою нутромірів є важливим елементом контролю якості продукції. Наприклад, у виробництві автомобільних двигунів нутроміри використовуються для вимірювання діаметрів гільз та посадкових місць підшипників, що забезпечує надійність і тривалість роботи двигуна. У галузі авіабудування нутроміри допомагають контролювати точність посадки важливих деталей, таких як турбіни або гідравлічні системи, що значно впливає на безпеку та надійність літальних апаратів.

Вимоги до нутромірів:

Нутроміри повинні відповідати високим стандартам точності, які визначаються міжнародними та національними стандартами. В Україні використовуються такі стандарти, як ДСТУ ISO 3650:2009 та ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT), що регламентують методи калібрування та вимоги до вимірювальних приладів. Вимоги до точності нутромірів залежать від галузі застосування, типу вимірюваних деталей та необхідної точності [2,12].

Нутроміри є невід'ємною частиною арсеналу прецизійного вимірювального інструменту, що використовується для забезпечення високої точності внутрішніх вимірювань. Їх використання допомагає підвищити якість продукції, забезпечуючи відповідність до сучасних стандартів та вимог, що є необхідним для конкурентоспроможності виробничих підприємств на глобальному ринку.

Висновки до першого розділу

У першому розділі здійснено комплексний аналіз теоретичних основ точності прецизійних інструментів, що є невід’ємною складовою вимірювальних процесів у різних сферах промисловості. Результати дослідження підкреслюють важливість точності, її визначення та основні чинники, що на неї впливають, а також специфіку застосування нутромірів.

1. Визначення точності: Точність вимірювань є критично важливим параметром, який визначає, наскільки результати вимірювання відповідають істинному значенню. Встановлено, що точність вимірювань безпосередньо впливає на кінцеву якість продукції, надійність технологічних процесів і ефективність виробництв. Цей аспект потребує регулярної перевірки та калібрування вимірювальних інструментів.

2. Основні фактори, що впливають на точність: Аналіз основних чинників, таких як механічні, температурні, електромагнітні та умови навколишнього середовища, показав, що кожен з цих аспектів може суттєво впливати на результати вимірювань. Наприклад, коливання температури можуть змінювати фізичні характеристики матеріалів інструментів і об'єктів

вимірювання, що, в свою чергу, вплине на точність. Визначення й контроль цих факторів є ключовими для забезпечення стабільності та повторюваності вимірювань.

3. Класифікація прецизійного інструменту: Огляд класифікації прецизійних інструментів дозволив виокремити різні типи інструментів, їх специфіку та сферу застосування. Відзначено, що різноманітність інструментів вимагає вибору оптимальних рішень для конкретних вимірювальних задач. Наприклад, нутроміри підходять для вимірювання внутрішніх діаметрів, тоді як мікрометри забезпечують високу точність для вимірювань товщини матеріалів.

4. Нутроміри: принципи роботи та їх роль: Нутроміри розглядаються як важливі інструменти для досягнення високої точності вимірювань внутрішніх розмірів виробів. Розглянуто принципи роботи нутромірів, зокрема використання триточкової системи вимірювання, яка дозволяє компенсувати вплив деформацій. Це робить їх незамінними для контролю якості в умовах серійного виробництва.

5. Вимоги до точності і надійності індикаторних вимірювальних інструментів: Було визначено, що індикаторні вимірювальні інструменти, такі як штангенциркулі та мікрометри, повинні відповідати високим стандартам точності та надійності. Це є критично важливим, оскільки помилки у вимірюваннях можуть призводити до значних економічних втрат через дефекти у виробах. Установлено, що систематичне калібрування і регулярна перевірка індикаторів є необхідними для підтримання їхньої працездатності.

У підсумку, перший розділ підтверджує, що точність прецизійних інструментів є невід'ємною характеристикою, що суттєво впливає на результати вимірювань і, відповідно, на якість продукції. Глибоке розуміння основних факторів, що впливають на точність, класифікації інструментів, а також специфіки роботи нутромірів надає можливість розробити більш ефективні практики контролю якості та вдосконалення методик калібрування. Отримані результати можуть стати основою для подальших досліджень у сфері метрології та впровадження нових технологій, які підвищать точність вимірювань у виробництві.

2 Аналіз сучасних методів підвищення точності

2.1. Огляд методів та технологій, що використовуються для підвищення точності

Підвищення точності вимірювальних інструментів та методів є одним з ключових аспектів сучасного виробництва, особливо у таких галузях, як машинобудування, приладобудування, авіаційна та космічна промисловість. Чітке дотримання геометричних та розмірних параметрів є критичним для забезпечення якості продукції та її відповідності технічним вимогам. Для цього використовуються різноманітні методи та технології, що дозволяють знизити похибку вимірювань і підвищити точність інструментів. У цьому розділі розглянемо найбільш поширені підходи до підвищення точності у процесі вимірювань.

Методи підвищення точності:

- Температурна компенсація

Температурні зміни є одним з найбільш впливових факторів, що впливають на точність вимірювань. Зміна температури може призводити до теплового розширення або стиснення матеріалів, що викликає похибки у вимірюваннях. Для зменшення цього впливу використовуються кілька методів [7,8]:

- Використання матеріалів із низьким коефіцієнтом теплового розширення: деякі матеріали, такі як кераміка або спеціальні сплави, мають значно меншу здатність до теплового розширення порівняно з традиційними матеріалами. Це робить їх ідеальними для виготовлення еталонів або вимірювальних інструментів, що працюють у змінних температурних умовах.
- Температурна стабілізація вимірювальних приладів: інструменти можуть бути попередньо витримані в стабільних температурних умовах перед початком вимірювань. В деяких випадках використовуються спеціальні

термостабілізовані приміщення або камери, в яких відбуваються всі вимірювальні процеси.

- Температурна компенсація в цифрових приладах: сучасні цифрові інструменти можуть бути оснащені системами автоматичної температурної компенсації. Наприклад, в мікрометрах або штангенциркулях можуть бути встановлені датчики температури, що дозволяють автоматично коригувати результати вимірювань відповідно до температури навколишнього середовища.

- Метод компараторного вимірювання

Компараторні методи вимірювання дозволяють значно підвищити точність завдяки порівнянню вимірюваних об'єктів з еталонними. У цьому випадку не вимірюється абсолютний розмір деталі, а порівнюється відхилення від еталона. Використання компараторів дозволяє зменшити похибки, що виникають через недосконалість вимірювальних приладів або вплив зовнішніх факторів.

Компараторний метод часто застосовується при вимірюванні деталей у серійному виробництві, де важливо дотримуватись точної відповідності між партіями виробів. Компаратори можуть бути механічними або електронними і дозволяють проводити високоточні вимірювання, зменшуючи вплив людського фактора.

- Використання багатоточкових вимірювальних систем

Багатоточкові вимірювальні системи, такі як триточкові нутроміри, дозволяють підвищити точність вимірювань внутрішніх розмірів. Точкові вимірювання на кількох ділянках забезпечують більш надійну та точну оцінку геометричних характеристик отворів або внутрішніх поверхонь циліндричних деталей.

Триточкові нутроміри широко використовуються для вимірювань внутрішніх діаметрів втулок, циліндрів, глухих і наскрізних отворів. Такий підхід дозволяє враховувати можливі відхилення форми і забезпечує точнішу оцінку справжнього діаметра деталі.

- Використання зворотного відліку в індикаторах

Індикатори зворотного відліку дозволяють мінімізувати похибки, що виникають через недосконалість вимірювальних інструментів або людський фактор. У цих індикаторах результат вимірювання відображається з більшою точністю завдяки додатковому зворотному ходу стрілки, що компенсує можливі коливання вимірювань при поверненні до нульової точки.

Індикатори зворотного відліку особливо корисні у випадках, коли необхідно вимірювати зміни дуже малих величин або відхилення від номіналу, оскільки вони дозволяють зменшити похибки на етапі повернення приладу в початковий стан.

Технології підвищення точності:

- Цифрові вимірювальні прилади

Цифрові технології значно підвищують точність вимірювань за рахунок можливості автоматичного зчитування даних, мінімізуючи людські помилки. Багато сучасних мікрометрів, нутромірів, штангенциркулів і інших інструментів оснащені цифровими дисплеями, що дозволяють отримувати результати вимірювань з високою роздільною здатністю[30].

Крім того, цифрові прилади часто мають можливість зберігати результати вимірювань, передавати їх на зовнішні пристрої або до центральних систем обробки даних. Це підвищує не тільки точність, але і ефективність процесу контролю якості на виробництві, дозволяючи автоматизувати збір та аналіз даних.

- Безконтактні вимірювальні системи

Безконтактні технології вимірювання, такі як лазерні або оптичні системи, набувають дедалі більшого поширення у виробництві, оскільки вони дозволяють проводити вимірювання без фізичного контакту з об'єктом. Це особливо корисно у випадках, коли контакт може викликати деформацію об'єкта або коли потрібне вимірювання дуже малих або делікатних деталей.

Лазерні вимірювальні системи дозволяють отримувати дуже точні результати навіть на складних поверхнях або за складних умов експлуатації, таких як високі температури або агресивне середовище. Безконтактні методи

також дозволяють проводити швидкі вимірювання великих серій деталей, підвищуючи ефективність виробництва.

- Координатно-вимірювальні машини (КВМ)

Координатно-вимірювальні машини (КВМ) є одним із найточніших засобів вимірювання геометричних параметрів деталей. Вони використовуються для високоточного вимірювання складних форм та поверхонь. Завдяки можливості автоматичного збору та обробки даних КВМ дозволяють досягати мінімальних похибок і забезпечувати повторюваність вимірювань [31].

КВМ часто застосовуються для контролю складних виробів у таких галузях, як авіаційна, космічна та автомобільна промисловість, де точність вимірювань має вирішальне значення для забезпечення якості продукції.

- Використання роботизованих систем для вимірювань

Роботизовані системи, оснащені високоточними вимірювальними інструментами, стають важливим елементом сучасних виробництв, де автоматизація та точність є критично важливими. Вони забезпечують ряд переваг, які суттєво підвищують ефективність вимірювальних процесів:

1. Підвищена точність і повторюваність: Роботизовані системи можуть виконувати вимірювання з високою точністю, оскільки вони виключають людський фактор, що часто є джерелом помилок. Завдяки використанню програмованих алгоритмів та стабільної механіки, роботизовані системи можуть забезпечити стабільні результати у великих серіях вимірювань.

2. Швидкість виконання: Роботизовані вимірювальні системи здатні виконувати завдання значно швидше, ніж традиційні методи. Це дозволяє зменшити час, необхідний для контролю якості продукції, що особливо важливо в умовах масового виробництва.

3. Гнучкість у застосуванні: Сучасні роботизовані системи можуть бути налаштовані для вимірювання різних типів деталей з різними геометричними формами. Завдяки можливості програмування, такі системи можуть легко адаптуватися до нових продуктів або зміни у виробничих процесах.

4. Інтеграція з системами управління: Роботизовані системи можуть бути інтегровані з виробничими та інформаційними системами, що забезпечує постійний моніторинг та управління процесами. Це дозволяє здійснювати контроль у реальному часі, оперативно виявляти відхилення та коригувати параметри виробництва.

5. Використання мультимодальних технологій: Сучасні роботизовані системи можуть комбінувати різні методи вимірювання, наприклад, оптичні та контактні технології. Це дозволяє підвищити точність вимірювань, оскільки різні технології можуть компенсувати один одного, забезпечуючи більш детальну інформацію про деталі.

Приклади застосування:

У автомобільній промисловості, наприклад, роботизовані системи широко використовуються для вимірювання геометрії кузовних деталей. Завдяки цим системам виробники можуть проводити високоточний контроль розмірів та форми, що є критично важливим для забезпечення якісної складання автомобілів.

В аерокосмічній галузі роботизовані вимірювальні системи використовуються для контролю якості складних компонентів, таких як лопаті турбін або фюзеляжі літаків. У цих випадках точність вимірювань є вирішальною для забезпечення безпеки польотів.

Загалом, використання роботизованих систем у процесах вимірювання дозволяє не лише підвищити точність та ефективність, але й знизити витрати на контроль якості, забезпечуючи більш високу продуктивність на всіх етапах виробництва. Це робить їх незамінними в умовах сучасного промислового виробництва, де конкуренція та вимоги до якості продукції зростають.

З урахуванням сучасних вимог до точності вимірювань, важливо не лише впроваджувати нові технології, але й забезпечувати належну підготовку фахівців, які здійснюють вимірювання та калібрування. Професійна підготовка, знання сучасних методів та технологій, а також здатність адаптуватися до нових умов – це важливі складові успішної реалізації процесів контролю якості в сучасному виробництві.

Перспективи розвитку:

У майбутньому очікується подальший розвиток вимірювальної техніки, зокрема:

1. Інтеграція штучного інтелекту: Використання AI для обробки даних з вимірювальних систем може суттєво підвищити точність і швидкість аналізу результатів. Системи, що ґрунтуються на штучному інтелекті, можуть адаптуватися до змінних умов, виявляти аномалії та автоматично коригувати параметри калібрування.

2. Розвиток технологій Інтернету речей (IoT): Інтеграція IoT в процеси вимірювання дозволить забезпечити постійний моніторинг і передачу даних в реальному часі. Це дозволить підприємствам своєчасно виявляти відхилення та ухвалювати рішення на основі актуальної інформації.

3. Продовження вдосконалення безконтактних технологій: Безконтактні вимірювальні системи будуть продовжувати розвиватися, що дозволить досягти нових рівнів точності та швидкості вимірювань. Зокрема, покращення лазерних і оптичних технологій надасть можливість вимірювати деталі з мікронною точністю без ризику їх пошкодження.

4. Екологічні аспекти вимірювальної техніки: Врахування екологічних чинників у виробничих процесах стає дедалі важливішим. Впровадження нових, більш екологічних матеріалів та технологій, що зменшують вплив на навколишнє середовище, також стане важливим напрямом розвитку.

Отже, впровадження сучасних методів та технологій, що підвищують точність вимірювань, є необхідною умовою для забезпечення конкурентоспроможності виробництв та якості продукції. Поєднання традиційних підходів з інноваційними технологіями дозволить підвищити точність вимірювань, забезпечити ефективність процесів калібрування та контролю якості, що, в свою чергу, позитивно вплине на економічні показники підприємств.

Цей огляд методів та технологій підвищення точності є основою для подальших досліджень та практичних розробок у галузі метрології, калібрування та контролю якості. Необхідно постійно впроваджувати нові рішення, адаптуючи

їх до специфіки виробництв, щоб забезпечити найвищі стандарти якості та точності у вимірюваннях.

Інші інноваційні підходи:

- Використання нанотехнологій

Нанотехнології, що використовуються у виготовленні вимірювальних приладів, дозволяють досягати надзвичайно високої точності вимірювань на мікро- та нанорівнях. Це особливо актуально для галузей, де вимоги до точності вимірювань виходять за межі традиційних методів, таких як виробництво напівпровідників або оптичних компонентів.

2.2 Порівняння ефективності різних підходів до контролю точності

Контроль точності є ключовим аспектом у виробничих процесах, який безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції. Існують різні підходи до контролю точності, кожен з яких має свої переваги та недоліки. У цьому розділі ми порівняємо ефективність трьох основних підходів: традиційні методи, автоматизовані системи та використання штучного інтелекту.

Традиційні методи

1. Вимірювання за допомогою ручних інструментів:

- Переваги: Доступність, простота використання, низька вартість.
- Недоліки: Висока ймовірність людської помилки, потреба в досвідченому персоналі, обмежена точність.

2. Калібрування за допомогою еталонних зразків:

- Переваги: Висока точність при правильному використанні, стандартизовані процедури.
- Недоліки: Висока вартість еталонних зразків, потреба у постійному оновленні еталонів, тривалий час проведення вимірювань.

Автоматизовані системи

1. Використання комп'ютеризованих вимірювальних машин (CMM):

- Переваги: Висока точність, швидкість проведення вимірювань, можливість автоматичного запису результатів.
- Недоліки: Висока вартість обладнання, потреба в регулярному обслуговуванні, залежність від надійності програмного забезпечення.

2. Системи зворотного зв'язку у виробничих лініях:

- Переваги: Неперервний моніторинг і корекція параметрів, висока ефективність у масовому виробництві.
- Недоліки: Високі витрати на впровадження, складність інтеграції в існуючі процеси, потреба в технічній підтримці.

Використання штучного інтелекту

1. Машинне навчання для аналізу вимірювальних даних:

- Переваги: Автоматичне виявлення аномалій, передбачення збоїв, підвищення точності вимірювань за рахунок самообучення.
- Недоліки: Потреба у великій кількості даних для навчання, висока складність алгоритмів, залежність від якості вхідних даних.

2. Нейронні мережі для оптимізації процесів калібрування:

- Переваги: Висока точність і адаптивність, можливість обробки великих обсягів даних у реальному часі.
- Недоліки: Високі вимоги до обчислювальних ресурсів, потреба у спеціалізованих знаннях для налаштування та обслуговування.

Додаткові підходи

1. Адитивне виробництво (3D-друк):

- Переваги: Висока точність та повторюваність, можливість швидкого виготовлення складних деталей.
- Недоліки: Висока вартість обладнання, потреба у спеціалізованих матеріалах та знаннях.

2. Лазерне сканування:

- Переваги: Точне вимірювання та моделювання поверхонь, можливість використання для великих об'єктів.
- Недоліки: Висока вартість обладнання, потреба у складному програмному забезпеченні.

3. Інтернет речей (IoT):

- Переваги: Неперервний збір та аналіз даних у режимі реального часу, висока ефективність у моніторингу виробничих процесів.
- Недоліки: Потреба в значних інвестиціях у інфраструктуру, залежність від стабільного підключення до мережі.

Кожен із підходів до контролю точності має свої унікальні переваги та обмеження. Вибір оптимального підходу залежить від специфіки виробничих процесів, наявних ресурсів та вимог до точності. Традиційні методи є доступними та простими, але мають обмежену точність. Автоматизовані системи забезпечують високу точність та ефективність, проте вимагають значних інвестицій. Використання штучного інтелекту пропонує перспективні можливості для підвищення точності та ефективності, але потребує значних зусиль для впровадження та налаштування. Додаткові підходи, такі як адитивне виробництво, лазерне сканування та Інтернет речей, також мають свої переваги, але вимагають спеціалізованого обладнання, інфраструктури та знань.

2.3 Концептуальні основи вдосконалення технологій вимірювання та контролю якості

В сучасних умовах розвитку технологій і глобальної конкуренції підвищення точності вимірювань і контролю якості продукції є критично важливим для підприємств різних галузей. Розробка нових підходів до вимірювання і контролю якості включає кілька ключових концептуальних

напрямів, які дозволяють забезпечити високу точність, надійність і ефективність виробничих процесів.

Інноваційні підходи до вимірювань

1. Використання багатофункціональних датчиків: Інтеграція багатофункціональних сенсорних систем у виробничі процеси дозволяє здійснювати вимірювання кількох параметрів одночасно. Це забезпечує більш повну картину стану продукції та процесів, а також сприяє підвищенню точності і надійності вимірювань.

2. Автоматизація вимірювальних процесів: Впровадження автоматизованих систем вимірювання дозволяє знизити ймовірність людських помилок, прискорити процес збору даних і забезпечити високий рівень точності. Такі системи можуть працювати в режимі реального часу, що особливо важливо для контролю якості в умовах масового виробництва.

3. Технології безконтактних вимірювань: Впровадження безконтактних методів вимірювання, таких як лазерні і ультразвукові технології, дозволяє знизити вплив на об'єкт вимірювання і підвищити точність результатів. Це особливо актуально для вимірювання параметрів виробів складної форми або з делікатних матеріалів.

4. Розробка нових методик калібрування: Важливим аспектом є розробка методик калібрування, які дозволяють підвищити точність вимірювань за допомогою вдосконалення процесів встановлення параметрів вимірювальних приладів. Це включає використання сучасних технологій і матеріалів, що забезпечують стабільність та точність калібрування.

Вдосконалення методів контролю якості

1. Інтеграція методів статистичного контролю: Використання статистичних методів контролю якості, таких як контрольні карти і статистичний аналіз процесів, дозволяє виявляти і усувати відхилення на ранніх етапах виробництва. Це сприяє зниженню кількості дефектів і підвищенню стабільності виробничих процесів.

2. Впровадження систем зворотного зв'язку: Інтеграція систем зворотного зв'язку у виробничі процеси дозволяє в режимі реального часу коригувати параметри виробництва на основі даних вимірювань і контролю якості. Це забезпечує оперативне реагування на зміни і підтримання стабільності процесів.

3. Моделювання і симуляція процесів: Використання технологій моделювання і симуляції дозволяє прогнозувати поведінку виробничих процесів і виявляти потенційні проблеми ще на етапі проєктування. Це сприяє розробці ефективних методів контролю якості і зниженню ризиків виникнення дефектів.

4. Комплексний підхід до управління якістю: Впровадження комплексних систем управління якістю, таких як TQM (Total Quality Management) або Six Sigma, дозволяє інтегрувати всі аспекти контролю якості в єдину систему. Це забезпечує систематичний підхід до поліпшення якості, залучення всіх співробітників до процесу та постійне вдосконалення.

5. Використання штучного інтелекту в контролі якості: Застосування штучного інтелекту та машинного навчання у процесі контролю якості дозволяє автоматизувати аналіз даних, виявлення аномалій і передбачення можливих відхилень. Це значно підвищує ефективність і точність контролю.

Переваги інноваційних підходів

1. Підвищення точності і надійності: Використання сучасних технологій дозволяє значно підвищити точність і надійність вимірювань і контролю якості, що безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції.

2. Зниження витрат: Впровадження автоматизованих і безконтактних методів вимірювання і контролю дозволяє знизити витрати на виробництво за рахунок зменшення кількості дефектів і витрат на переробки.

3. Підвищення ефективності виробництва: Інноваційні підходи до вимірювання і контролю якості сприяють підвищенню загальної ефективності виробничих процесів за рахунок зниження часу на контроль і оптимізації використання ресурсів.

4. Гнучкість і адаптивність: Новітні технології дозволяють швидко адаптувати процеси контролю якості до змін у виробництві, що особливо важливо в умовах швидкоплинного ринку.

5. Задоволення вимог споживачів: Підвищення якості продукції сприяє підвищенню задоволеності споживачів, що в свою чергу покращує репутацію компанії та її конкурентоспроможність.

6. Зменшення екологічного впливу: Ефективний контроль якості дозволяє знизити

Загальні висновки до 2 розділу:

Аналіз сучасних методів підвищення точності вказує на важливість інтеграції інноваційних технологій у виробничі процеси для забезпечення високої якості продукції.

Традиційні методи вимірювань і контролю, такі як ручні вимірювання та калібрування еталонними зразками, залишаються актуальними, але мають свої обмеження, пов'язані з високою ймовірністю людських помилок та тривалим часом виконання. Вони прості та доступні, проте не завжди можуть забезпечити необхідний рівень точності у сучасних виробничих умовах.

Автоматизовані системи, зокрема комп'ютеризовані вимірювальні машини (CMM) та системи зворотного зв'язку, демонструють високу ефективність та швидкість вимірювань. Вони забезпечують автоматичний запис даних, що сприяє зменшенню ризику помилок та прискоренню процесів. Проте такі системи вимагають значних фінансових інвестицій, регулярного обслуговування та надійного програмного забезпечення.

Використання штучного інтелекту та машинного навчання у контролі якості відкриває нові горизонти для автоматизації аналізу даних. Це дозволяє виявляти аномалії, передбачати збої та підвищувати точність вимірювань завдяки самообученню систем. Однак впровадження таких технологій потребує великої кількості даних, потужних обчислювальних ресурсів та спеціалізованих знань.

Додаткові підходи, такі як адитивне виробництво та лазерне сканування, дозволяють досягати високої точності вимірювань, але вимагають спеціалізованого обладнання та знань. Адитивне виробництво забезпечує високу повторюваність та швидкість виготовлення складних деталей, тоді як лазерне сканування дозволяє точно вимірювати та моделювати поверхні великих об'єктів.

Важливою складовою вдосконалення технологій вимірювання та контролю якості є розробка методик вимірювання та калібрування інструментів. Це забезпечує стабільність і точність вимірювальних процесів, що є критично важливим для підтримання високої якості продукції.

Загалом, вдосконалення технологій вимірювання та контролю якості має ключове значення для підвищення конкурентоспроможності підприємств. Інноваційні підходи сприяють підвищенню загальної ефективності виробництва, зниженню витрат та покращенню задоволеності споживачів. Висока точність та надійність вимірювань, а також систематичний підхід до поліпшення якості за допомогою сучасних технологій, дозволяють підприємствам швидко адаптуватися до змін ринку та забезпечити стабільну якість продукції.

Впровадження сучасних технологій, таких як багатофункціональні датчики, автоматизація вимірювальних процесів, безконтактні методи вимірювання та штучний інтелект, дозволяє значно підвищити точність і надійність вимірювань. Це, у свою чергу, знижує витрати на виробництво за рахунок зменшення кількості дефектів та витрат на переробки, підвищує ефективність виробничих процесів, знижує час на контроль та оптимізує використання ресурсів.

Таким чином, використання сучасних методів і технологій вимірювання та контролю якості, зокрема впровадження автоматизованих систем, штучного інтелекту, безконтактних вимірювань, а також розробка методик калібрування, є необхідною умовою для успішного розвитку підприємств в умовах глобальної конкуренції. Інноваційні підходи дозволяють забезпечити високу точність, надійність і ефективність виробничих процесів, що сприяє покращенню якості кінцевої продукції, зниженню витрат та підвищенню задоволеності споживачів.

3 Калібрування прецизійних інструментів: основи, специфіка та розробка процедур

3.1. Основи калібрування: визначення, принципи та значення у контролі якості

Калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є важливою процедурою метрологічного нагляду за ЗВТ, що використовуються в калібрувальних лабораторіях, дослідних випробувальних лабораторіях та лабораторія підприємств – виробників продукції. Відповідно до закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-VII від 5 червня 2014 «калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології» [1]. В той же час калібрування є ключовим етапом забезпечення метрологічної простужуваності, що є властивістю результату вимірювань, яка полягає в тому, що цей результат може бути пов'язаний з еталоном через задокументований нерозривний ланцюг калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання [1-2].

Таким чином калібрування з одно боку забезпечує споживчі потреби власників засобу вимірювальної техніки мати якісний ЗВТ, з визначеними компетентним органом метрологічними характеристиками, з іншого боку виконує важливу метрологічну задачу – забезпечення метрологічної простежуваності.

Сучасний розвиток метрологічної діяльності спрямований на вирішення задач в декількох аспектах:

1. вдосконалення технічних аспектів реалізації калібрування, зокрема, із залученням сучасних інформаційних технологій комунікації,

ідентифікації та передачі даних;

2. вдосконалення традиційних підходів до опрацювання результатів калібрування з метою підвищення їх якості, зокрема, точності та інформативності;

3. адаптація результатів калібрування з метою можливості подання результату калібрування у термінах невизначеності (там де це є доцільним).

Перша задача може бути реалізована шляхом застосування підходів,розроблених в сфері так званої інтернет-метрології [21].

Друга і третя задачі є взаємопов'язаними є передбачають залучення статистичної обробки даних – результатів вимірювання та їх пристосування та адаптація до теоретичних засад невизначеності результатів вимірювання.

Діючі в України нормативно-технічні та нормативно-правові документи дають такі визначення калібрування:

- ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення[24]:

калібрування засобу вимірювальної техніки (засобу вимірювань) (calibration) - сукупність операцій, що виконуються з метою визначення метрологічних характеристик та придатності засобу вимірювальної техніки до застосування в певних умовах.

- Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1]:

калібрування - сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу.

За [1] калібрування засобів вимірювальної техніки та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

При традиційному підході калібрування засобів вимірювальної техніки, як правило, проходить на стороні метрологічної організації, що проводить калібрування за українським законодавством.

Калібрування засобів вимірювальної техніки проводиться [1]:

науковими метрологічними центрами;

метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації;

метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

В окремих випадках калібрування може проводитись на стороні клієнта (підприємства, організації – власника ЗВТ). В кожному з цих випадків в одному локальному просторі (калібрувальна лабораторія або лабораторія підприємства) мають бути розташовані:

- засіб вимірювальної техніки, що калібрується;
- еталонне обладнання;
- допоміжне обладнання;

персонал калібрувальної лабораторії, який повністю проводить процедуру калібрування (включаючи з'єднання обладнання в систему), опрацювання результатів та інший метрологічний супровід та відповідає за всю процедуру калібрування.

Схема проведення калібрування в традиційному варіанті наведена на рисунку 3.1

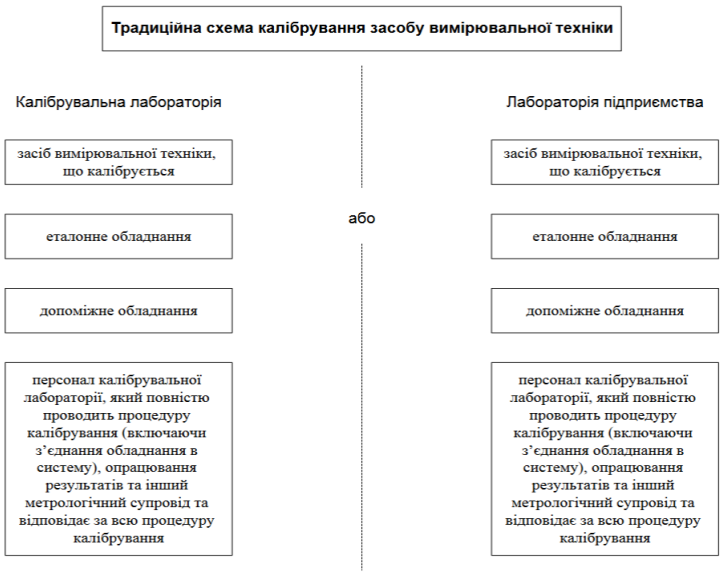


Рисунок 3.1 – Традиційна схема проведення калібрування

В той же час на сучасному етапі розвитку метрологічного забезпечення до недоліків традиційних систем відносять:

- надлишкові витрати часу при транспортування засобу вимірювальної техніки до калібрувальної лабораторії;
- зупинка технологічного або іншого виробничого процесу на певний термін під час проведення калібрування засобів вимірювальної техніки (якщо це обладнання використовується в цьому процесі);
- витрата коштів на транспортування;
- надлишкові витрати на оплату праці кваліфікованого персоналу калібрувальної лабораторії під час відвідування лабораторії підприємства;
- надлишкова присутність людського фактору під час проведення процедури, яка має бути виключно об'єктивною та неупередженою.

Перелік недоліків може бути скорегований або доповнений з огляду на особливості тієї чи іншої галузі вимірювань.

В сучасному світі ці недоліки в тій чи іншій мірі усуваються шляхом:

на першому етапі – автоматизації процедури калібрування навіть при використанні традиційного підходу, що забезпечує об'єктивність, неупередженість та спрощення самого процесу калібрування та опрацювання результатів калібрування;

на другому – побудову систем так званого інтернет-калібрування, які дозволяють економити ресурси: фінансові, часові, людські.

3.2 Практичні аспекти та значення простежуваності, калібрування та невизначеності вимірювань

Простежуваність, калібрування та невизначеність вимірювань є фундаментальними аспектами метрології, які забезпечують точність, надійність та міжнародне визнання вимірювань. Ці елементи є критично важливими для

наукових досліджень, промислових процесів та забезпечення якості продукції. У цьому розділі розглядаються основні принципи та практичні аспекти простежуваності, калібрування та невизначеності вимірювань.

Виміряне кількісне значення має бути пов'язане з посиланням через документально підтверджений безперервний ланцюг простежуваності (рис 3.2).

3.2 - Рисунок - Ланцюг простежуваності

Ланцюг простежуваності забезпечує співвідношення результату вимірювання з пов'язаним посиланням на робочі еталони більш вищих рівнів, закінчуючи первинним стандартом Міжнародної системи одиниць [33]. Кінцевий користувач може отримати відстеження на найвищому міжнародному рівні або безпосередньо з національного метрологічного інституту або із вторинної калібрувальної лабораторії, як правило, акредитованої лабораторії. В результаті різних механізмів взаємного визнання, міжнародно визнану простежуваність можна отримати з лабораторій поза межами власної країни користувача. Метрологічні терміни для простежуваності, що визначаються невеликими часовими зміни усіх приладів та еталонів, обговорюються в [34].

Основним інструментом забезпечення простежуваності вимірювання є калібрування засобів вимірювання чи систем, або за допомогою зразкових матеріалів. Під час калібрування зазвичай досягається безпосереднє порівняння з

еталонами вимірювання або сертифікованими зразковими матеріалами, що документується сертифікатом калібрування для засобу вимірювань.

Вираз «простежуваність до СІ» означає простежуваність вимірюваного значення до одиниць Міжнародної системи одиниць СІ. Це означає метрологічну простежуваність до дематеріалізованого еталону, оскільки одиниці системи СІ концептуально базуються на природних фундаментальних константах, наприклад, швидкості світла в означенні одиниці довжини.

Отже, характеризація вимірюваної величини повинна бути реалізована з використанням еталонів вимірювання.

Якщо вимірюване значення величини є атрибутом матеріального об'єкта (наприклад, хімічна речовина, склад матеріалу або зразок властивостей матеріалу чи виготовлений продукт), то воно також є простежуваним до матеріальних еталонних зразків, необхідних для характеристики об'єкта, який має метрологічно визначене та виміряне значення величини.

3.2.1 Невизначеність вимірювань

Невизначеність вимірювань, як правило, містить багато компонент, які можуть бути визначені по-різному [35].

Основним методом визначення невизначеності вимірювань є Довідник з вираження невизначеності вимірювань (GUM) [36], який спільно використовується об'єднаним комітетом в організаціях з метрології (JCGM) (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP та OIML).

Філософія невизначеності GUM:

• Результат вимірювання X, значення якого не є точно відомим, вважається стохастичною змінною з певною функцією ймовірності.

• Результат X вимірювання є оцінкою очікуваного значення E(X).

• Стандартна невизначеність u(x) дорівнює квадратному кореню значень

різниць V(X).

• Оцінка невизначеності типу А. Математичне сподівання і дисперсія оцінюються статистичною обробкою багаторазових вимірювань.

• Оцінка невизначеності типу В. Математичне сподівання і дисперсія оцінюються іншими методами, ніж ті, що використовуються для оцінок непевності типу А. Найчастіше використовуваний метод полягає в тому, щоб прийняти густину розподілу ймовірності засновану на попередньому досвіді, наприклад, прямокутний розподіл, або будь-яку іншу інформацію.

Метод оцінювання невизначеності заснований на філософії GUM.

• Визначити всі важливі компоненти невизначеності вимірювання. Є багато джерел, які можуть спричиняти невизначеність вимірювань. Застосувати модель фактичного процесу вимірювання для ідентифікації джерел. Використовувати вимірювані величини в математичній моделі.

• Обчислити стандартну невизначеність кожного компонента невизначеності вимірювання. Кожна компонента невизначеності вимірювань виражається в термінах від стандартної невизначеності, визначеної з оцінок типу А та типу В.

• Обчислити сумарну (комбіновану) невизначеність u (бюджет невизначеність). Комбінована невизначеність обчислюється шляхом об’єднання окремих компонентів невизначеність відповідно до закону поширення невизначеність. На практиці:

– для суми або різниці компонентів, комбінована невизначеність обчислюється як квадратний корінь суми квадратів стандартних невизначеність компонентів;

– для добутку або частки компонентів, застосовується правило подібне до правила для сум/різниць, але для відносних стандартних невизначеність компонентів.

• Розраховується розширена невизначеність U, помноживши комбіновану невизначеність на коефіцієнт k покриття.

• Визначається результат вимірювання у формі $X = x \pm U$.

Простежуваність, калібрування та невизначеність вимірювань є ключовими елементами, що забезпечують високий рівень метрологічної точності та відтворюваності результатів. Простежуваність дозволяє зв'язати виміряне значення з еталоном через документально підтверджений ланцюг, калібрування налаштовує вимірювальні прилади для відповідності еталонам, а невизначеність вимірювань враховує всі можливі джерела похибок. Разом ці елементи забезпечують точність, надійність та міжнародне визнання вимірювань, що є критично важливим для наукових досліджень, промислових процесів та забезпечення якості продукції.

3.3. Розробка процедур калібрування для різних типів прецизійних інструментів

Калібрування прецизійних інструментів включає комплекс процедур, спрямованих на порівняння їх вимірювань з еталонними значеннями, контроль за робочим станом інструмента, а також фіксацію похибок і налаштування, якщо необхідно. Процедури калібрування відрізняються в залежності від типу інструмента та умов його експлуатації. Цей розділ описує розробку процедур калібрування для різних типів прецизійних інструментів, таких як нутроміри, мікрометри, штангенциркулі та індикатори, з урахуванням специфіки кожного виду вимірювальних пристроїв.

3.3. 1. Загальні принципи розробки процедур калібрування

Перед розробкою процедури калібрування необхідно провести детальний аналіз технічних характеристик прецизійного інструмента. Це включає вивчення

його діапазону вимірювань, точності, похибок, що допускаються, та конструктивних особливостей. Важливо зрозуміти умови, в яких інструмент буде використовуватися, та можливі фактори, що можуть впливати на точність вимірювань, такі як температура, вологість, наявність вібрацій та інші.

Наприклад, для нутромірів, які застосовуються для вимірювання внутрішніх діаметрів, важливо враховувати точність вимірювальної шкали та конструкцію вимірювальних губок, що мають забезпечити стабільний контакт з поверхнею деталі. Висока роздільна здатність і точність роботи таких приладів вимагають проведення регулярного калібрування для гарантування точності вимірювань.

- Вибір стандартів та еталонів для калібрування:

Процедури калібрування базуються на стандартах, що визначають вимоги до точності вимірювань і допустимих похибок. Міжнародні стандарти ISO, такі як ISO 17025, а також національні стандарти, як-от ГОСТ або DIN, слугують основою для розробки калібрувальних процедур.

Еталонні міри, які використовуються для калібрування, мають бути виготовлені з високою точністю і бути стабільними за своїми фізичними характеристиками. Для різних типів інструментів використовуються різні калібри: наприклад, для нутромірів індикаторних використовуються еталонні кільцеві калібри з точно відомими внутрішніми діаметрами, а для мікрометрів застосовують кінцеві міри для контролю точності в різних точках діапазону.

- Стандартизація методів калібрування

Методи калібрування повинні бути стандартизовані для забезпечення їхньої повторюваності та порівнянності результатів. Це передбачає розробку чітких інструкцій щодо:

- умов, у яких проводиться калібрування (температура, вологість, чистота середовища);
- послідовності дій під час калібрування;
- інструментів і допоміжних пристроїв, які використовуються для калібрування;
- вимірювальних стандартів, з якими порівнюються результати;

- способів документування результатів та їхнього аналізу.

- Аналіз похибок та їх компенсація

Після проведення калібрування важливо оцінити всі отримані результати на предмет наявності похибок. Якщо похибки є, вони можуть бути систематичними або випадковими. Систематичні похибки, які виникають через конструктивні особливості інструмента, можуть бути компенсовані шляхом налаштування або внесення корективів у результати вимірювань.

3.3. 2. Процедури калібрування для нутромірів

- Нутроміри індикаторні (рис.3.3)

Нутроміри індикаторні є складними інструментами для вимірювання внутрішніх діаметрів, що дозволяють отримати високу точність результатів. Процедура калібрування для нутромірів індикаторних включає:

1. Підготовку інструмента: Перед калібруванням нутромір повинен бути ретельно очищений від забруднень, які можуть вплинути на точність вимірювань. Також перевіряється стан вимірювальних губок на предмет зносу.

Рисунок 3.3 - Нутроміри індикаторні (МІКРОТЕХ)

2. Використання еталонних калібрів: Для калібрування нутроміра використовуються кільцеві калібри, що мають точно відомі внутрішні діаметри. Це дозволяє перевірити, наскільки правильно працює нутромір на різних діаметрах.

3. Налаштування на нульову точку: Спочатку нутромір налаштовується на нульову точку, використовуючи калібр відповідного діаметра. Важливо, щоб прилад показував нуль при повному контакті вимірювальних губок з калібром.

4. Контроль точності на різних діаметрах: Для перевірки точності нутромір перевіряється на різних діаметрах, наприклад, 20 мм, 50 мм та 100 мм. Це дозволяє оцінити точність приладу в усьому діапазоні його вимірювань.

5. Аналіз результатів: Похибки вимірювань фіксуються, і, якщо вони перевищують допустимі значення, нутромір підлягає налаштуванню або ремонту.

- Нутроміри мікрометричні трьох точкові (рис.3.4)

Нутроміри мікрометричні використовуються для точного вимірювання внутрішніх діаметрів з роздільною здатністю до 0,001 мм або менше. Процедура їх калібрування має такі особливості:

1. Вибір еталонних калібрів: Для калібрування трьохточкових нутромірів використовуються кільцеві калібри або кінцеві міри. Важливо вибирати калібри з точністю, яка перевищує точність самого інструмента.

2. Перевірка на різних діаметрах: Нутромір перевіряється на кількох стандартних діаметрах, щоб оцінити його точність по всьому діапазону вимірювань.

3. Корекція показників: Якщо виявлено систематичні похибки, прилад підлягає налаштуванню, щоб мінімізувати ці похибки.

Рисунок 3.4 - Нутромір мікрометричний триточковий цифровий НММЦ-4 (МІКРОТЕХ)

- Процедури калібрування для штангенциркулів

Штангенциркулі є універсальними інструментами для вимірювання як зовнішніх, так і внутрішніх розмірів, а також глибин отворів. Процедура калібрування для штангенциркулів включає наступні кроки (рис.3.5):

Рисунок 3.5- Штангенциркуль ШЦЦМ-150 для вимірювання міжцентрових відстаней (МІКРОТЕХ)

1. Перевірка нульової точки: Штангенциркуль повинен показувати нуль, коли вимірювальні губки повністю зімкнуті. Це є першим кроком для оцінки правильності його роботи.

2. Використання кінцевих мір: Штангенциркуль калібрується на стандартних блоках кінцевих мір, які мають точні значення довжини. Це дозволяє перевірити точність приладу на кількох різних вимірювальних позиціях.

- Документування результатів: Всі результати калібрування фіксуються в журналі вимірювань для подальшого аналізу.

Процедури калібрування для штангенциркулів

Штангенциркулі використовуються для вимірювання як зовнішніх, так і внутрішніх діаметрів, довжин і глибин.

1. Перевірка нульового положення: Першим кроком є перевірка нульового положення штангенциркуля, щоб переконатися, що коли губки повністю зімкнуті, показник дорівнює нулю.

2. Вимірювання на різних довжинах: Для калібрування використовуються еталонні калібри або блоки кінцевих мір. Штангенциркуль перевіряється на декількох відомих довжинах і діаметрах.

3. Аналіз результатів: Похибки порівнюються з допустимими значеннями, зазначеними в інструкціях або стандартах.

4. Корекція: У разі виявлення систематичних відхилень штангенциркуль може бути відкалібрований шляхом налаштування механічних частин або компенсації похибки в показаннях.

- Процедури калібрування для мікрометрів

Мікрометри забезпечують дуже високу точність вимірювань і потребують особливо ретельного калібрування (рис.3.6).

1. Використання еталонних калібрів або кінцевих мір: Для калібрування використовуються кінцеві міри, які відповідають або перевищують точність мікрометра.

Рисунок 3.6 - Мікрометр з неповоротним шпинделем 0-30 мм(МІКРОТЕХ)

2. Перевірка на різних вимірювальних відстанях: Калібрування проводиться на різних позиціях у діапазоні вимірювань мікрометра. Зазвичай використовують три еталонні розміри (малий, середній та максимальний).

3. Корекція мікрометра: Якщо виявлено похибки, проводиться налаштування вимірювальних губок або гвинта.

4. Перевірка після налаштування: Після налаштування проводиться повторна перевірка для підтвердження точності вимірювань.

- Процедури калібрування індикаторів годинникового типу

Індикатори годинникового типу використовуються для вимірювання відносних змін положення або деформацій (рис.3.7).

Рисунок 3.7 - Індикатор 1МИГ 0-1мм(МІКРОТЕХ)

1. Налаштування нуля: Встановлення індикатора на нульову точку проводиться за допомогою калібра або еталонної поверхні.

2. Перевірка на різних положеннях: Калібрування проводиться шляхом переміщення вимірювальної голки на різні відстані та порівняння показників з еталонними величинами.

3. Документування похибок: Усі результати вимірювань записуються для подальшого аналізу.

4. Корекція: В разі виявлення систематичних помилок може бути проведене налаштування механічних частин.

Розробка процедур калібрування для прецизійних інструментів є критично важливою для забезпечення їх точності та надійності. Процедури мають враховувати особливості кожного типу інструменту, такі як діапазон вимірювань, тип конструкції та вимоги до точності. Правильне калібрування дозволяє не лише

забезпечити високу якість продукції, але й уникнути значних фінансових витрат, пов'язаних із помилками вимірювань.

3.4. Впровадження сучасних інформаційних технологій в процес калібрування (Internet–enabled metrology)

Розвиток інформаційних технологій і їх впровадження в різні галузі науки, промисловості і економіки формує нові можливості для удосконалення та розвитку цих галузей. Це стосується і метрології, як науки і сфери діяльності, де впровадження інформаційних технологій відкриває нові напрямки розвитку і сприяє удосконаленню традиційних.

В сучасному світі набуває поширення напрям в інженерії, який охоплює питання використання Інтернету для забезпечення доступу до всього переліку метрологічних сервісів (служб) – це інтернет-сумісна метрологія (Internet–enabled metrology).

Основними напрямами, що охоплює інтернет - метрологія є [21]:

- інтернет-сумісне калібрування, при якому калібрувальна лабораторія проводить віддалений контроль за процесом калібрування в лабораторії клієнта;
- віддалений моніторинг обладнання;
- реалізація доступу до бібліотек, контролюючих сервісів, історій калібрування, вимірювальних даних, імітуючого програмного забезпечення (симуляторів) з використанням Web.

Впровадження віддаленого калібрування з використанням інтернет як середовища для передачі інформації крім цього дозволяє вирішити ряд питань, пов’язаних з транспортуванням, нестачею обладнання, простоями в роботі та економічними затратами (рис 3.8).

Рисунок 3.8 – Схема Інтернет – калібрування (еталонне обладнання розташоване на стороні калібрувальної лабораторії)

Інтернет-калібрування калібрування ЗВТ знаходить своє розповсюдження завдяки малим термінам реалізації таких послуг, зменшення їх вартості, можливості всесвітнього застосування та прийнятної точності. Ця організаційна система вже легалізована в деяких країнах, і уряди цих країн виділяють великі бюджетні кошти на розвиток таких проектів, які реалізуються в Японії, Великобританії, США, Нідерландах тощо, а також у рамках проектів Азійсько-Тихоокеанської метрологічної програми [21].

Зазначені проекти спрямовані на потреби споживачів метрологічних послуг (організацій, закладів і підприємств) у застосуванні, зокрема, дистанційних калібрувальних систем, впровадженні сучасних інформаційних та інших технології, таких, як Глобальна позиційна система (GPS), оптичні системи комунікацій, Інтернет [22].

Напрямки розвитку систем інтернет метрології, які в літературі скорочено називають ще i-met системами, інститути/організації і країни, які займаються дослідженнями в області i-met систем частоти та часу та вже реалізовані проекти систематизовані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Застосування систем інтернет-калібрування в світі

Напрями розвитку систем i-met	Інститути/організації та країни, що проводять роботи та дослідження в області i-met	Реалізовані системи і сервіси i-met
Частота та час	Національний інститут метрології (NMIJ), Японія	Розвиток UTC в напрямку розробки системи i-cal з використанням GPS
	Національний інститут еталонів та технологій (NIST), США	TMAS – Time Measurement and Analysis Service
	Національний метрологічний центр (NMC), Сінгапур	Система i-cal з використанням GPS

В Україні також проводяться дослідження можливостей інтернет-калібрування [23], хоча такий підхід на сьогодні законодавчо не врегульований.

Висновки до третього розділу

Калібрування прецизійних інструментів є важливою складовою сучасної метрології, що забезпечує точність і надійність вимірювань у виробничих процесах. У цьому розділі було здійснено теоретичний аналіз основних принципів калібрування, специфіки його проведення для різних типів інструментів, а також розглянуто методи, що можуть бути застосовані для підвищення точності вимірювань.

По-перше, калібрування визначається як систематичний процес, спрямований на перевірку та коригування характеристик вимірювальних інструментів згідно з установленими еталонами. Встановлено, що регулярне калібрування є необхідним для забезпечення відповідності продукції заданим технологічним специфікаціям і стандартам якості. Це, в свою чергу, впливає на довіру споживачів до продукції та конкурентоспроможність підприємств на ринку.

Важливим аспектом є специфіка калібрування, що включає вплив зовнішніх факторів, таких як температура, вологість та механічні вібрації. Розглянуті

принципи організації калібрувальних робіт показують, що забезпечення стабільних умов є критично важливим для досягнення високої точності вимірювань.

Також, виявлено, що різні типи прецизійних інструментів, таких як нутроміри, мікрометри та штангенциркулі, вимагають особливого підходу в методах калібрування. Аналіз методик, які можуть бути використані для калібрування цих інструментів, вказує на необхідність адаптації підходів залежно від специфічних умов експлуатації. Підкреслено, що важливо продовжувати вдосконалення теоретичних засад калібрування, а також інтегрувати нові технології та методи для забезпечення високих стандартів точності вимірювань.

Отже, результати цього розділу підтверджують, що калібрування прецизійних інструментів є невід'ємною частиною забезпечення якості в сучасному виробництві. Теоретичні основи, розглянуті в даному дослідженні, можуть бути використані для розробки практичних рекомендацій, які сприятимуть покращенню методів калібрування та підвищенню ефективності виробничих процесів.

4 Розробка проекту методики калібрування «Нутроміри індикаторні» та рекомендацій щодо підвищення точності вимірювальних інструментів на ПНВП "МІКРОТЕХ»

У сучасних умовах розвитку промисловості, зростання технологічних вимог та жорстких стандартів якості, точність вимірювань є однією з основних характеристик, що забезпечує відповідність продукції міжнародним стандартам. Підприємства, що спеціалізуються на виробництві прецизійних інструментів, такі як ПНВП "МІКРОТЕХ", потребують надійних і точних інструментів для забезпечення якісного контролю продукції. Нутроміри індикаторні, які використовуються для вимірювання внутрішніх діаметрів деталей, потребують регулярного калібрування для забезпечення точності та повторюваності вимірювань. Впровадження методики калібрування нутромірів, що відповідає вимогам стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019, є важливим кроком для підвищення якості виробництва.

4.1 Аналіз вимог ISO/IEC 17025:2017 до методик вимірювання/випробування

Міжнародний стандарт ДСТУ ISO/IEC 17025, який встановлює вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій, відомий в Україні вже багато років. Наприкінці 2017 року міжнародні організації стандартизації – ISO та IEC оприлюднили нову версію цього стандарту. Ця версія впроваджена в ЄС як EN ISO/IEC 17025:2017 та в Україні як ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

Слід звернути увагу, що ISO/IEC 17025 застосовується не тільки з метою акредитації випробувальної лабораторії національними агентствами з акредитації,

а в основному для організації роботи в самій лабораторії. Тому на міжнародному рівні випробувальні лабораторії часто декларують відповідність вимогам цього стандарту та на практиці дійсно постійно виконують ці вимоги з метою доказу замовникам якості виконання вимірювань/випробувань у лабораторії, а саме досягнення достовірності результатів вимірювань/випробувань.

Таким чином, забезпечення достовірності результатів проведених вимірювань/випробувань є головною метою впровадження ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [2] у лабораторіях. Згідно ДСТУ ISO/IEC 17000 [27] випробуванням є визначення однієї або більше характеристик об’єкту оцінки відповідності згідно з визначеною процедурою. Тому під час випробувань застосовується як випробувальне, так і вимірювальне обладнання відповідно до того, як поставлена мета та встановлена процедура визначення характеристики об’єкту оцінки відповідності.

Вимірювальне обладнання (засоби вимірювальної техніки) застосовується для вимірювання, тобто це засоби вимірювальної техніки, за допомогою яких реалізують процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані цій величині. [28,29])

Випробувальне обладнання застосовується для відтворення умов випробувань, тобто це технічні засоби, які певним чином впливають на об’єкт досліджень на протязі необхідного часу.

Розглянемо поняття «методики» відносно випробувань та вимірювань. На міжнародному рівні «методики» звичайно називають «процедурами». У міжнародному словнику з метрології VIM [4] наведено таке визначення процедури вимірювання (англ. measurement procedure): «детальний опис вимірювання у відповідності з одним або більш принципами вимірювання та даним методом вимірювання, яке основане на моделі вимірювання та містить розрахунок для одержання результату вимірювання». Це визначення не суперечить визначенню терміну «методика вимірювання» прийнятому в Україні: «документ, який містить сукупність операцій та правил, виконання яких

забезпечує одержання результату вимірювань з установленою точністю» (ГОСТ 8.010-99 [25]).

Згідно з VIM [4]:

- принцип вимірювання – явище, яке служить основою для вимірювання (явище може мати фізичну, хімічну або біологічну природу);

- метод вимірювання - загальний опис логічної послідовності операцій, які використовуються під час вимірювань (наприклад, метод прямих вимірювань);

- модель вимірювання – математичний зв'язок між всіма величинами, які мають відношення до вимірювання);

- точність - близькість між виміряним значенням величини і істинним значенням вимірюваної величини. Поняття "точність вимірювання" не є величиною і тому не дається у вигляді чисельного значення величини. Кажуть, що вимірювання є більш точним, коли воно має меншу похибка вимірювання.

Кажуть, що «треба провести більш точне вимірювання», або «достатньо одержання результату вимірювання з меншою точністю». Тобто точність - якісний показник, в кількісному значенні може бути виражений іншими кількісними показниками.

Під час випробувань також застосовується поняття «точність випробувань». В цьому разі точність характеризується точнісною характеристикою або встановленим допуском до результату випробувань. Точнісна характеристика під час випробувань, наприклад, похибка встановлення температури у сушильній шафі або допуск на значення відповідного параметру продукції, що випробується.

Методика вимірювання або випробування повинна бути викладена в документі достатньо детально, щоб дозволити виконавцю правильно виконати це вимірювання (випробування) та одержати достовірний результат. Зміст методики вимірювання докладно визначено у ГОСТ 8.010-99 [25]. Зміст методики випробувань практично такий же.

Зміст методики (вимірювання/випробування):

1 Сфера застосування (до яких об’єктів застосовується, короткий опис об’єкта)

2 Метод вимірювань (випробувань) (короткий опис метода)

3 Вимоги до точності результатів

4 Засоби, що необхідні для проведення вимірювань/випробувань

Для вимірювань: Засоби вимірювальної техніки, випробувальне обладнання, реактиви, матеріали тощо (які необхідні для проведення вимірювань із визначенням метрологічних (для ЗВТ) та технічних (для інших засобів) характеристик)

Для випробувань: Випробувальне обладнання, реактиви, матеріали тощо (які необхідні для проведення випробувань із визначенням технічних характеристик)

5 Умови проведення вимірювань/випробувань

6 Вимоги до охорони праці під час проведення вимірювань/випробувань

7 Вимоги до персоналу, який проводить вимірювання/випробування

8 Підготовка до проведення вимірювань/випробувань

9 Проведення вимірювань/випробувань

10 Оформлення результатів

11 Контроль якості проведення вимірювань/випробувань

Роз’яснення до змісту методик:

1. Якщо під час випробувань проводяться вимірювання, то у сфері застосування визначається: «Ця методика застосовується для випробувань…» або «Ця методика регламентує проведення вимірювань під час випробувань…».

2. Щодо вираження точності у методиках вимірювань дивись нижче.

3. Засоби, що необхідні для проведення вимірювань/випробувань, включають все засоби, які необхідні для проведення вимірювань/випробувань, тому у тексті методики вони всі повинні бути згадані.

4. В акредитованих лабораторіях до введення в експлуатацію ЗВТ повинні бути відкалібровані, а випробувальне обладнання – перевірене (атестоване).

5. Умови проведення вимірювань/випробувань встановлюють відповідно до об’єктів дослідження та умов експлуатації застосованих засобів.

Підготовка та проведення вимірювань/випробувань повинні бути описані у строгій логічній послідовності із чітким визначення суті операції, що виконується.

Вимоги ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [2] до методик викладені у підрозділі 7.2 «Вибирання, верифікація та валідація методів» (розділ 7 «Вимоги до процесу»). Лабораторія повинна використовувати прийнятні методи та процедури для здійснення всієї діяльності (тобто вимірювань та випробувань у сфері діяльності). В тексті цього стандарту визначено, що термін "метод" ("method"), який використовується в оригіналі цього документу, може вважатися синонімом терміну "процедура вимірювання" (тобто методика вимірювання), як це визначено в ISO/IEC Guide 99 (VIM [4]).

Щодо статусу методик вимірювання у підрозділі 7.2 ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [2] визначено:

1) «усі методи, процедури та допоміжна документація, такі як інструкції, стандарти, настанови та довідкові дані, що стосуються діяльності лабораторії, повинні бути актуалізовані та доступні для персоналу»;

2) «лабораторія повинна забезпечити, що вона використовує останню дійсну версію метода, за винятком, коли це недоречно або неможливо»;

3) «коли необхідно, застосування метода повинно бути доповнене додатковою інформацією для забезпечення послідовного застосування».

Треба звернути увагу на те, що передбачено в 2). Це положення стандарту фразою «за винятком, коли це недоречно або неможливо» допускає застосування скасованих з національного рівня стандартів відповідно до практичної необхідності. Для вітчизняних фахівців це положення визиває сумнів, тому що вони звикли до вимоги обов’язковості національних стандартів. Але згідно Закону України «Про стандартизацію» [26] застосування національних стандартів є

добровільним, крім тих, що є обов'язковими (обов'язковими є ті стандарти, на які є посилання у нормативно-правових актах). На практиці застосування не «останньої дійсної версії» стандарту є достатньо часто просто необхідним (наприклад, скасували стандарт без заміни, треба саме продукція за попередньою версією стандарту тощо). Тому, підприємства повинні прийняти той факт, що у разі виробничої необхідності та/або за вимогою замовника продукції, що вони використовують скасовані з національного рівня національні стандарти. Ця ситуація не суперечить міжнародній практиці.

Згідно із Законом України «Про стандартизацію» [26] національні стандарти, обов'язковість застосування яких встановлена нормативно-правовими актами, знаходяться у вільному доступі, Національний орган стандартизації забезпечує розміщення на офіційному веб-сайті текстів національних стандартів та кодексів усталеної практики, обов'язковість застосування яких установлена нормативно-правовими актами, не пізніше ніж через 30 календарних днів з дня набрання ними чинності з безоплатним доступом до них.

Застосування скасованих національних стандартів, в тому числі і методик вимірювань/випробувань, є звичайною практикою. Однак, підприємства та організації повинні відслідковувати як скасування так, і відновлення дії (що відбувається достатньо часто) національних стандартів та надання чинності новим стандартам на заміну скасованих, та визначатися з можливістю їх застосування.

Вимога 3) щодо можливості доповнення додатковою інформацією методик для забезпечення послідовного застосування надає можливість лабораторії розробляти робочі інструкції для уточнення дій за методикою. При цьому необхідно враховувати роз'яснення щодо поводження із стандартизованими методиками: «міжнародні, регіональні або національні стандарти, або інші визнані специфікації, що містять суттєву стислу інформацію про те, як виконувати діяльність лабораторії, не потрібно переписувати у вигляді внутрішніх лабораторних процедур, якщо ці стандарти написані таким чином, що вони можуть бути використані персоналом, який дотримується методів

лабораторії. Може бути необхідним додаткове документування для необов'язкових етапів методу або додаткової деталізації».

На жаль в ISO/IEC 17025:2017 не застосовується у пункті 7.2.1.4 термін «стандартизована методика», однак, у наступному тексті цей термін застосовується. Однак підтверджено, що методи (методики), опубліковані у міжнародних, регіональних чи національних стандартах або видані авторитетними технічними організаціями, або видані у відповідній науковій літературі чи журналах, або ті, що зазначаються виробником обладнання, є рекомендованими (тобто стандартизованими). Також підтверджено, що методи, розроблені та модифіковані лабораторією, можуть також використовуватися.

Позитивним моментом у новій редакції стандарту є чітке визначення застосування термінів «верифікація» та «валідація» до методик вимірювання. Під верифікація розуміється надання об'єктивних доказів того, що даний об'єкт відповідає зазначеним вимогам. У аспекті, що розглядається, об'єктом є як методика вимірювань, так і методика випробувань.

Верифікації підлягають стандартизовані (рекомендовані) методики, які застосовуються за своєю сферою застосування. Лабораторія повинна перевірити, що вона може правильно виконувати методики до початку їх впровадження шляхом доведення того, що вона може досягнути необхідну результативність – достовірність результату вимірювань (випробувань). Записи про верифікацію методик мають зберігатися в лабораторії. Процедуру «верифікації» для стандартизованих методик доцільно проводити всім випробувальним (вимірювальним) лабораторіям, тому що це є доказом забезпечення якості робіт, що в ній проводяться. А це особливо важливо в умовах, коли атестація вимірювальних лабораторій не передбачена Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1].

Лабораторія повинна валідувати:

- нестандартизовані методики;
- методики, розроблені лабораторією;

- стандартизовані методики, які використовуються в інший ніж передбачено спосіб або модифіковані.

Валідація – це верифікація того, що зазначені вимоги є відповідними для цільового використання. Таким чином, під час валідації методик лабораторія підтверджує їх придатність до застосування.

Валідація має бути настільки масштабною, наскільки це необхідно для задоволення потреб даного застосування або області застосування. Прийоми, що використовуються для валідації методу, можуть бути одним із або комбінацією таких:

- оцінювання зміщення вимірювання та прецизійності з використанням стандартних зразків;

- систематичне оцінювання чинників, що впливають на результат;

- перевірка стійкості методу шляхом зміни регульованих параметрів, таких як температура інкубатора, об’єм дози;

- порівняння з результатами, отриманими за іншими валідованими методами;

- міжлабораторні порівняння;

- оцінка невизначеності результатів вимірювань на основі розуміння теоретичних принципів методу та практичного досвіду роботи з відбору проб або методу випробування.

Лабораторія повинна визначитися із точністю проведених вимірювань. Однак передбачено не тільки оцінювання точності за допомогою невизначеності. Вимога до обов’язковості оцінювання невизначеності вимірювань визначена так - де це доречно. Дуже важливим з точки зору практичного застосування методик є те, що головною вимогою до робочих характеристик валідованих методик є відповідність потребам замовників та сумісність з визначеними вимогами. А це означає, що не тільки невизначеність може характеризувати точність вимірювань, як це визначалося в попередніх редакціях стандарту, та суперечило багатьом іншим міжнародним стандартом, що регламентували вимоги до точності вимірювань.

В ISO/IEC 17025:2017 передбачено, що робочі характеристики можуть включати, але не обмежуватися, діапазон вимірювань, похибка результатів вимірювання, невизначеність результатів вимірювання, межу виявлення, межу кількісного визначення, вибірковість методу, лінійність, повторюваність або відтворюваність, стійкість до зовнішніх впливів або перехресної чутливості до впливу матриці зразка чи об'єкта випробування та зміщення вимірювання.

Таким чином, точність результатів вимірювань може бути оцінена через:

- похибку (нормовану або максимально допустиму),
- невизначеність (приписану або цільову (нормовану)),
- правильність (систематичну похибку або зміщення від опорного значення),
- прецензійність (повторюваність або відтворюваність).

На підставі проведеного аналізу вимог ISO/IEC 17025:2017 до методик вимірювання/випробування можна зробити наступні висновки:

- нова редакція ISO/IEC 17025 стала новим перспективним кроком до застосування метрологічних вимог до методик, визначених різними іншими міжнародними документами в галузі метрології;
- невизначеність вимірювань не є єдиною кількісною характеристикою точності вимірювань у випробувальних лабораторіях (у т.ч. і в акредитованих), як це нормувалося у попередніх версіях ISO/IEC 17025. Нормування цільової невизначеності вимірювань результату вимірювань під час випробувань поки що не регламентоване;
- відповідно до поставленого вимірювального завдання треба використовувати ті характеристики точності, які передбачені стандартизованими методиками вимірювань;
- на практиці слід визначатися, яка саме характеристика точності необхідна у розробленій лабораторією методиці для можливості доказу достовірності одержаного результату, та яка відповідає вимогам замовника.

4.2 Специфіка калібрування нутромірів у виробничих умовах «МІКРОТЕХ»

Калібрування нутромірів індикаторних забезпечує точне вимірювання внутрішніх діаметрів деталей у широкому діапазоні розмірів — від 3 до 1000 мм, з дискретністю до 0,0001 мм. Процес калібрування є невід'ємною частиною метрологічного забезпечення виробництва, що гарантує відповідність вимірювань міжнародним стандартам точності та забезпечує стабільність якості продукції.

- Основні принципи калібрування:

Калібрування вимірювальних приладів є процесом, під час якого встановлюються відхилення показників приладу від еталонних значень. Це дозволяє забезпечити відповідність результатів вимірювань встановленим стандартам і вимогам до точності. Калібрування нутромірів індикаторних включає кілька важливих етапів, серед яких визначення похибок вимірювань, оцінка невизначеності та підтвердження відповідності вимогам.

Важливість калібрування для забезпечення якості. Вимірювання внутрішніх діаметрів є особливо чутливими до зовнішніх факторів, таких як зміна температури або механічні деформації приладів. Тому процес калібрування враховує ці параметри і забезпечує стабільність вимірювань незалежно від умов експлуатації.

Роль стандартів. Усі процедури калібрування проводяться відповідно до міжнародних стандартів, таких як ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Це гарантує, що нутроміри індикаторні проходять перевірку за чітко визначеними нормами, які забезпечують високий рівень точності. Крім того, стандарти визначають вимоги до обладнання, що використовується для калібрування, та умов, у яких проводяться вимірювання.

- Специфіка калібрування нутромірів індикаторних;

Нутроміри індикаторні, що використовуються для вимірювання внутрішніх діаметрів, мають особливу конструкцію, яка вимагає спеціальних підходів до

калібрування. Основним завданням процесу калібрування є встановлення відхилень вимірювань нутромірів від еталонних значень і мінімізація цих відхилень до допустимого рівня.

Підбір еталонів для калібрування. Важливою частиною процесу калібрування є вибір еталонів, що відповідають класам точності вимірюваних нутромірів. Для калібрування нутромірів використовуються еталонні кільця, які забезпечують точність вимірювань до мікронів. Ці еталони повинні відповідати вимогам стандартів і мати сертифікати відповідності.

Вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань. Калібрування нутромірів проводиться за умов контрольованої температури (20 ± 1°C) та відносної вологості повітря (60 ± 20%). Важливим є також запобігання механічним деформаціям під час калібрування, що може вплинути на точність вимірювань.

- Процес калібрування:

Калібрування нутромірів проводиться у кілька етапів: спочатку здійснюється зовнішній огляд приладу для виявлення механічних пошкоджень або інших дефектів, які можуть вплинути на точність вимірювань. Далі проводиться вимірювання за допомогою еталонних кільців, при цьому результати фіксуються і порівнюються з еталонними значеннями. Останнім етапом є оцінка невизначеності вимірювань, що проводиться за встановленими стандартами.

- Процедури калібрування:

Процедури калібрування нутромірів індикаторних повинні забезпечувати точність вимірювань на всіх етапах використання приладу. Вони включають перевірку працездатності нутромірів у всьому діапазоні вимірювань, контроль точності відлікових пристроїв та оцінку впливу зовнішніх факторів.

- Кроки калібрування:

1. Огляд стану приладу – перевірка стану вимірювальних поверхонь, індикаторів та вузлів.
2. Вимірювання на еталонах – виконання серії вимірювань за допомогою еталонних кілець і фіксація результатів у протоколі калібрування.

3. Оцінка похибок – порівняння результатів вимірювань з еталонними значеннями для визначення похибок.

4. Оцінка невизначеності вимірювань – розрахунок похибки з урахуванням умов експлуатації і технічних характеристик приладу.

- Вибір стандартних еталонів та вимірювальних приладів для калібрування:

Еталони відіграють важливу роль у процесі калібрування нутромірів, оскільки вони є основним джерелом точності для вимірювальних інструментів. Для калібрування нутромірів індикаторних використовуються еталонні кільця, плоскопаралельні кінцеві міри та інші високоточні еталони, що відповідають міжнародним стандартам.

Переваги використання високоточних еталонів. Використання сертифікованих еталонів дозволяє забезпечити мінімальні відхилення вимірювань, що є критичним у виробництві прецизійних інструментів. ПНВП "МІКРОТЕХ" використовує еталони, що пройшли метрологічну перевірку і мають сертифікати відповідності міжнародним стандартам.

На підприємстві "МІКРОТЕХ" використовуються автоматизовані системи калібрування, що дозволяють мінімізувати похибки, які виникають через людський фактор, та забезпечують високу швидкість виконання калібрувальних процедур.

Запропонована методика калібрування нутромірів індикаторних для підприємства ПНВП "МІКРОТЕХ" відповідає міжнародним стандартам точності і дозволяє забезпечити високу якість вимірювань у виробничих умовах. Використання сертифікованих еталонів та автоматизованих систем калібрування гарантує стабільність результатів, підвищує ефективність виробничих процесів та забезпечує відповідність продукції міжнародним стандартам якості (Додаток А).

Калібрування нутромірів у виробничих умовах має свої особливості, які обумовлені специфікою виробничих процесів, характеристиками самих інструментів та вимогами до точності вимірювань. Нижче розглядаються основні аспекти, які впливають на процес калібрування в таких умовах [15-16].

- Вибір умов калібрування

Вибір умов калібрування є критично важливим для забезпечення точності вимірювань. Основні фактори, які слід враховувати:

1. Температурний режим: Температура має великий вплив на вимірювання, оскільки матеріали, з яких виготовлені нутроміри, можуть розширюватися або стискатися. Для мінімізації цих впливів калібрування слід проводити при стабільній температурі, рекомендованій виробником, зазвичай в межах 20 °C ± 1 °C.

2. Вологість повітря: Вологість також може впливати на точність вимірювань, особливо в умовах, де використовуються електронні нутроміри. Висока вологість може викликати конденсацію, що негативно позначається на працездатності приладів. Тому оптимальні умови для калібрування передбачають контроль за вологістю.

3. Чистота робочого середовища: На точність вимірювань впливають також частки пилу, бруду та інших забруднень. Калібрування слід проводити в чистих приміщеннях, обладнаних системами фільтрації повітря, щоб виключити можливість впливу зовнішніх факторів.

4. Стабільність бази для вимірювання: Поверхні, на яких проводяться вимірювання, повинні бути міцними та стабільними. Деформації бази можуть призвести до систематичних помилок в вимірюваннях.

- Частота калібрування;

Частота калібрування нутромірів визначається декількома факторами, серед яких:

1. Інтенсивність використання: У випадку, якщо нутромір використовується на регулярній основі, наприклад, у серійному виробництві, рекомендується проводити калібрування щомісяця або раз на квартал. Для інструментів, що використовуються рідше, калібрування може виконуватись раз на півроку або рік.

2. Складність вимірювань: У разі проведення складних вимірювань, які вимагають високої точності, частота калібрування може бути збільшена.

Наприклад, при використанні нутромірів для вимірювання внутрішніх діаметрів деталей, критичних для роботи механізмів, необхідно щоденне або тижневе калібрування.

3. Зміна умов експлуатації: Якщо змінюються умови, в яких працює нутромір (температура, вологість, робоче навантаження), частоту калібрування слід переглядати. Зміни можуть призвести до зниження точності вимірювань, тому важливо проводити регулярні перевірки.

- Використання сучасних технологій:

Сучасні технології значно спростили процес калібрування нутромірів. Основні аспекти включають:

1. Цифрові нутроміри: Використання цифрових нутромірів з інтегрованими датчиками дозволяє автоматично реєструвати дані вимірювань, що знижує ризик помилок, пов'язаних із ручним введенням даних. Цифрові прилади зазвичай мають вбудовані функції самокалібрування, що підвищує точність вимірювань.

2. Системи бездротової передачі даних: Сучасні нутроміри можуть бути обладнані модулями бездротової передачі даних, що дозволяє миттєво передавати результати вимірювань на комп'ютер для подальшої обробки. Це прискорює процес калібрування та зменшує ймовірність помилок.

3. Програмне забезпечення для обробки даних: Використання спеціалізованого програмного забезпечення для обробки даних вимірювань дозволяє автоматизувати процес калібрування. Це програмне забезпечення може включати функції для графічного відображення результатів, аналізу відхилень, а також складання звітів.

4. Мобільні додатки: У нових системах калібрування часто використовуються мобільні додатки, які дозволяють інженерам і метрологам швидко отримувати інформацію про стан калібрування, налаштування приладів, а також історію вимірювань.

- Навчання персоналу:

Належна підготовка персоналу, відповідального за калібрування, є важливим аспектом. Інженери та метрологи повинні проходити регулярні навчання, щоб бути в курсі нових методів та технологій калібрування. Це включає:

1. Технічне навчання: Персонал повинен бути навчений методам калібрування та обслуговування вимірювальних приладів, а також розуміти принципи їх роботи.

2. Сертифікації: Важливо, щоб працівники мали відповідні сертифікати, які підтверджують їхню кваліфікацію. Це може включати навчання з метрології та калібрування, а також курси за новими технологіями.

3. Адаптація до нових технологій: Персонал повинен бути готовий адаптуватися до нових технологій і методів калібрування, що постійно розвиваються, оскільки це впливає на загальну точність вимірювань.

- Документування процесу:

Документування всіх етапів калібрування є важливим для підтвердження точності та надійності вимірювальних інструментів. Основні елементи, які слід документувати:

1. Запис даних вимірювань: Всі результати вимірювань повинні бути зафіксовані в спеціальному журналі або базі даних. Це дозволяє відстежувати зміни в показниках з часом.

2. Акти калібрування: Після завершення процесу калібрування складається акт, у якому фіксуються результати, проведені вимірювання, а також рекомендації щодо подальшої експлуатації.

3. Звіти про відхилення: Якщо під час калібрування виявляються відхилення, необхідно складати звіти про причини та заходи щодо усунення проблем.

4. Системи управління якістю: Всі дані та документи повинні відповідати вимогам системи управління якістю, що підтверджує відповідність вимірювального процесу міжнародним стандартам.

Специфіка калібрування нутромірів у виробничих умовах обумовлена множинними факторами, включаючи вибір умов калібрування, частоту перевірок, використання сучасних технологій, навчання персоналу та документування процесу. Забезпечення високої точності вимірювань є критично важливим для якості продукції, тому підприємства повинні приділяти належну увагу всім етапам калібрування нутромірів.

4.3. Вибір стандартних еталонів та вимірювальних приладів для калібрування

Вибір еталонів та вимірювальних приладів для калібрування має вирішальне значення в забезпеченні якості метрологічного контролю на виробництві. Вибір еталонів ґрунтується на точності вимірювальних приладів, умовах їх експлуатації та необхідних вимогах до точності процесу. Стандартні еталони забезпечують відтворюваність вимірювань та забезпечують порівняння результатів вимірювань із базовими величинами, що використовуються в технологічних процесах. У свою чергу, вибір відповідних вимірювальних приладів дозволяє забезпечити точність, надійність і ефективність процесу калібрування.

- Вимоги до точності еталонів

Для забезпечення метрологічної простежуваності вимірювальних приладів еталони повинні мати точність, вищу за точність приладу, який калібрується. Зазвичай похибка еталона не повинна перевищувати 10% від похибки каліброваного інструмента. Це правило дозволяє мінімізувати вплив еталонів на результати калібрування і забезпечити їх відповідність національним або міжнародним стандартам.

Наприклад, якщо індикаторний нутромір має точність 0,002 мм, еталон для калібрування повинен мати похибку не більше 0,0002 мм. Це дозволить точно

визначати похибки приладу і забезпечувати коректні результати вимірювань на виробництві.

- Стабільність та повторюваність еталонів

Ключовою вимогою до еталонів є їхня стабільність, тобто здатність зберігати свої метрологічні характеристики протягом тривалого часу. Важливим аспектом є вибір матеріалів для виготовлення еталонів. Найчастіше використовуються сталі з високою твердістю або керамічні матеріали, що мають низький коефіцієнт теплового розширення та стійкі до зносу. Вибір таких матеріалів дозволяє уникати деформацій еталонів під впливом температурних коливань або механічного зносу, що є важливим фактором у виробничих умовах, де процеси вимірювання можуть проходити за різних температурних режимів.

- Вимоги до калібрування еталонів

Еталони повинні періодично проходити калібрування в акредитованих метрологічних лабораторіях, щоб підтвердити їх відповідність вимогам до точності. Це забезпечує метрологічну простежуваність еталона до національних або міжнародних стандартів. Наприклад, еталони, які використовуються для калібрування індикаторних або мікрометричних нутромірів, повинні мати сертифікат, що підтверджує їхню точність, та включати дату останнього калібрування.

- Сумісність еталонів із вимірювальними приладами

Сумісність еталонів з вимірювальними приладами є критичним аспектом. Еталони повинні бути відповідними за розмірами, формою і характеристиками до вимірювальних приладів, які підлягають калібруванню. Наприклад, для калібрування нутромірів застосовуються кільцеві калібри з точно визначеними внутрішніми діаметрами. Для мікрометрів, у свою чергу, застосовуються кінцеві міри довжини, які ідеально підходять для калібрування точних зовнішніх вимірювань.

Типи еталонів, що застосовуються в калібруванні:

- Кінцеві міри довжини є найчастіше використовуваними еталонами для калібрування мікрометрів, штангенциркулів та інших інструментів, що вимірюють лінійні розміри. Ці міри являють собою тверді блоки точної довжини, що зазвичай виготовляються зі сталі або кераміки. Вони використовуються для перевірки точності вимірювальних інструментів на всьому діапазоні їх дії.

Кінцеві міри довжини особливо ефективні для перевірки інструментів із широким діапазоном вимірювань. Наприклад, для калібрування мікрометра з діапазоном 0-25 мм можуть використовуватись кінцеві міри з такими розмірами: 5 мм, 10 мм, 15 мм, 20 мм та 25 мм. Це дозволяє перевіряти прилад на кожному з етапів його діапазону вимірювань.

- Кільцеві калібри використовуються для калібрування нутромірів і забезпечують високу точність вимірювань внутрішніх діаметрів. Кільцеві калібри виготовляються з точною номінальною величиною внутрішнього діаметра і застосовуються для вимірювання внутрішніх поверхонь циліндричних деталей. Вони дозволяють точно оцінити похибки приладів, призначених для вимірювання внутрішніх розмірів. Кільцеві калібри мають різний діапазон розмірів, що дозволяє використовувати їх для калібрування приладів з широким діапазоном вимірювань. Наприклад, для нутроміра з діапазоном 50-100 мм можна використовувати калібри з внутрішніми діаметрами 60 мм, 75 мм і 90 мм для перевірки приладу в різних точках діапазону.

- Різьбові калібри застосовуються для калібрування різьбових вимірювальних інструментів, таких як різьбоміри або глибиноміри, що використовуються для перевірки точності різьбових з'єднань. Ці калібри мають точно визначені профілі різьби і дозволяють перевіряти відповідність вимірювальних приладів стандартам на різьбові елементи. Застосування різьбових калібрів є критично важливим у тих галузях, де вимірювання різьби має ключове значення для якості продукції, таких як машинобудування та авіабудування.

- Еталонні пластини для перевірки індикаторів.

Для калібрування годинникових індикаторів і індикаторів зворотного відліку використовуються еталонні пластини або спеціальні шаблони з точно

відомими відстанями між точками вимірювання. Це дозволяє оцінити точність вимірювань на всьому діапазоні дії приладу. Еталонні пластини також використовуються для перевірки точності інших приладів, таких як компаратори або координатно-вимірювальні машини.

Вибір вимірювальних приладів для калібрування:

- Метрологічна простежуваність вимірювальних приладів

Всі вимірювальні прилади, які використовуються для калібрування, повинні мати сертифікати, що підтверджують їх відповідність міжнародним стандартам і метрологічну простежуваність до національних еталонів. Це забезпечує точність результатів вимірювань та можливість їх порівняння з іншими приладами та стандартами. Метрологічна простежуваність є важливим аспектом якості вимірювань і повинна забезпечуватися через регулярне калібрування самих вимірювальних приладів.

- Точність і чутливість вимірювальних приладів

Точність вимірювальних приладів повинна бути достатньою для виконання поставлених метрологічних завдань. Важливо, щоб похибка вимірювальних приладів була менша за похибку інструментів, які калібруються. Наприклад, для калібрування індикаторних нутромірів із точністю 0,001 мм вимірювальні прилади повинні мати похибку не більше 0,0001 мм.

- Використання цифрових вимірювальних приладів

Цифрові вимірювальні прилади все частіше використовуються для калібрування завдяки їх високій точності та можливості зберігати результати вимірювань у цифровій формі для подальшого аналізу. Такі прилади часто інтегруються з програмним забезпеченням, що дозволяє автоматично обробляти дані та документувати результати калібрування. Наприклад, сучасні цифрові мікрометри можуть мати можливість бездротової передачі даних, що дозволяє оперативно аналізувати вимірювання та зберігати їх у системі управління якістю.

- Автоматизовані системи для калібрування

З розвитком технологій у метрології дедалі частіше використовуються автоматизовані системи для калібрування, які підвищують точність і ефективність

процесу. Наприклад, координатно-вимірювальні машини (КВМ) дозволяють проводити тривимірні вимірювання та здійснювати калібрування складних інструментів з високою точністю. Такі системи використовуються для калібрування складних геометричних інструментів, включаючи інструменти з вимірювання внутрішніх і зовнішніх діаметрів, криволінійних форм та інших складних поверхонь. Автоматизація процесу також дозволяє зменшити вплив людського фактора на результати калібрування, що особливо важливо для високоточного виробництва.

Вибір еталонів та вимірювальних приладів для калібрування є важливою частиною метрологічного процесу, що впливає на точність вимірювань і якість продукції. Еталони повинні мати високу точність, бути стабільними і підлягати регулярній перевірці, а вимірювальні прилади мають бути сумісними з каліброваними інструментами, точними та надійними. Автоматизація і використання сучасних цифрових інструментів є ключовим напрямом розвитку метрологічного контролю на сучасних виробництвах.

4.4 Розробка практичних рекомендацій для підвищення точності інструменту та перспективи впровадження методик калібрування на “МІКРОТЕХ”

Підвищення точності прецизійного інструменту є критично важливим для забезпечення високої якості продукції та ефективності виробничих процесів. У цьому розділі розглянемо практичні рекомендації щодо підвищення точності інструменту та перспективи впровадження нових методик калібрування, зокрема для компанії “МІКРОТЕХ”.

1. Вибір та використання високоякісних матеріалів

Одним з ключових факторів підвищення точності прецизійного інструменту є використання високоякісних матеріалів. Рекомендується обирати матеріали з

високою стійкістю до зносу та деформацій, що забезпечить стабільність інструменту протягом тривалого часу. Для “МІКРОТЕХ” це означає інвестування в дослідження та розробку нових матеріалів, які відповідають найвищим стандартам якості.

2. Регулярне калібрування та обслуговування

Регулярне калібрування інструменту є необхідним для підтримання його точності. Рекомендується розробити графік калібрування, який враховує інтенсивність використання інструменту та умови експлуатації. Крім того, важливо проводити регулярне технічне обслуговування, включаючи очищення та змазування рухомих частин. Для “МІКРОТЕХ” це може включати створення спеціалізованих команд для обслуговування та калібрування інструментів.

3. Використання сучасних технологій

Впровадження сучасних технологій, таких як комп’ютеризовані системи контролю та автоматизовані калібрувальні станції, дозволяє значно підвищити точність прецизійного інструменту. Рекомендується інвестувати в сучасне обладнання та програмне забезпечення, яке забезпечить високу точність вимірювань та контроль параметрів. Для “МІКРОТЕХ” це може означати впровадження новітніх технологій у виробничі процеси та постійне оновлення обладнання.

4. Навчання та підвищення кваліфікації персоналу

Кваліфікація персоналу, який працює з прецизійним інструментом, є важливим фактором для забезпечення його точності. Рекомендується проводити регулярні тренінги та курси підвищення кваліфікації для працівників, що дозволить їм освоїти нові методики та технології. Для “МІКРОТЕХ” це може включати партнерство з навчальними закладами та організацію внутрішніх навчальних програм.

5. Впровадження системи контролю якості

Розробка та впровадження системи контролю якості, яка включає регулярні перевірки та тестування інструменту, дозволяє своєчасно виявляти та усувати відхилення від заданих параметрів. Рекомендується використовувати статистичні

методи контролю якості для аналізу даних та прийняття рішень щодо коригувальних дій. Для “МІКРОТЕХ” це може означати впровадження комплексної системи управління якістю, яка охоплює всі етапи виробничого процесу.

6. Оптимізація виробничих процесів

Оптимізація виробничих процесів, включаючи зменшення вібрацій та температурних коливань, сприяє підвищенню точності прецизійного інструменту. Рекомендується проводити аналіз виробничих процесів та впроваджувати заходи для зменшення впливу негативних факторів на точність інструменту. Для “МІКРОТЕХ” це може включати модернізацію виробничих ліній та впровадження нових технологічних рішень.

7. Вплив розроблених рішень на якість продукції

Впровадження нових методик калібрування прецизійних інструментів значно підвищує якість кінцевої продукції. Завдяки точнішому вимірюванню та контролю параметрів, зменшується кількість дефектів і відхилень від заданих характеристик. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню довіри споживачів до продукції та зменшенню витрат на виправлення помилок. Наукові дослідження підтверджують, що точність вимірювань безпосередньо впливає на стабільність виробничих процесів та якість продукції, що є критично важливим для високотехнологічних галузей.

8. Переваги підвищення точності для виробничих процесів

Підвищення точності калібрування має кілька ключових переваг для виробничих процесів:

- Зменшення витрат: Точніші вимірювання дозволяють зменшити кількість браку та повторних робіт, що знижує загальні витрати на виробництво. Дослідження показують, що інвестиції в точність вимірювань окупаються за рахунок зменшення витрат на виправлення дефектів.
- Підвищення ефективності: Завдяки точнішому контролю параметрів, виробничі процеси стають більш стабільними та передбачуваними, що підвищує

загальну продуктивність. Наукові дані свідчать про те, що стабільність процесів безпосередньо пов'язана з точністю вимірювань.

- Покращення якості: Висока точність вимірювань забезпечує відповідність продукції встановленим стандартам якості, що підвищує її конкурентоспроможність на ринку. Дослідження підтверджують, що якість продукції є одним з ключових факторів успіху на ринку.

Рекомендації щодо інтеграції розроблених рішень у виробничу практику:

- Навчання персоналу: Забезпечити навчання та підвищення кваліфікації працівників, які будуть відповідати за калібрування інструментів. Наукові дослідження показують, що кваліфікація персоналу є критично важливою для успішного впровадження нових технологій.
- Оновлення обладнання: Інвестувати в сучасне обладнання для калібрування, яке відповідає новим методикам та стандартам. Практичні дослідження підтверджують, що сучасне обладнання значно підвищує точність вимірювань.
- Моніторинг та контроль: Впровадити системи моніторингу та контролю для регулярної перевірки точності калібрування та своєчасного виявлення відхилень. Наукові дані свідчать про те, що регулярний моніторинг є ключовим фактором підтримки високої точності вимірювань.
- Документація та стандартизація: Розробити та впровадити стандартизовані процедури та документацію для калібрування, що забезпечить єдність та послідовність у виконанні процесів. Дослідження показують, що стандартизація процесів сприяє підвищенню їх ефективності та якості.

Крім того, для успішної інтеграції нових методик калібрування важливо забезпечити підтримку з боку керівництва компанії. Дослідження показують, що підтримка керівництва є ключовим фактором успішного впровадження нових технологій. Керівництво повинно активно підтримувати процес впровадження, забезпечуючи необхідні ресурси та створюючи сприятливі умови для змін.

Висновки до четвертого розділу:

У цьому розділі було проведено всебічний аналіз та розробку методики калібрування нутромірів індикаторних, а також надано рекомендації щодо підвищення точності вимірювальних інструментів на ПНВП “МІКРОТЕХ”. Вимоги стандарту ISO/IEC 17025:2017 визначають необхідність дотримання чітких процедур калібрування та випробувань для забезпечення високої точності та надійності вимірювань. Це включає управління якістю, компетентність персоналу, технічне оснащення та документацію. Калібрування нутромірів у виробничих умовах “МІКРОТЕХ” вимагає врахування впливу виробничого середовища на точність вимірювань. Рекомендації включають оптимізацію умов калібрування, таких як контроль температури, вологості та вібрацій. Вибір високоточних еталонів та вимірювальних приладів, які відповідають міжнародним стандартам, є ключовим для забезпечення точності та відтворюваності результатів калібрування. Практичні рекомендації включають використання високоякісних матеріалів, регулярне калібрування та обслуговування інструментів, впровадження сучасних технологій, навчання персоналу, впровадження системи контролю якості та оптимізацію виробничих процесів. Впровадження цих рекомендацій на “МІКРОТЕХ” дозволить підвищити точність вимірювальних інструментів, зменшити витрати на виробництво та покращити якість кінцевої продукції. Виконання наведених рекомендацій та впровадження розроблених методик калібрування нутромірів індикаторних на ПНВП “МІКРОТЕХ” сприятиме підвищенню точності вимірювань, покращенню якості продукції та підвищенню конкурентоспроможності компанії на ринку. Дотримання вимог ISO/IEC 17025:2017 забезпечить відповідність міжнародним стандартам та підвищить довіру споживачів до продукції “МІКРОТЕХ”.

Висновки

У цій магістерській роботі було проведено всебічний теоретичний аналіз та розроблено методику калібрування прецизійних інструментів, зокрема нутромірів індикаторних, з метою підвищення точності вимірювальних процесів у виробничих умовах. Дослідження підкреслило важливість високоточної метрології для забезпечення якості продукції та ефективного функціонування виробничих процесів. Основні висновки та практичні рекомендації роботи можуть стати основою для впровадження сучасних підходів до метрологічного контролю та стандартизації на підприємствах.

1. Теоретичні основи точності та калібрування: У рамках роботи детально проаналізовано поняття точності вимірювань, її значення для промислових процесів та вплив на кінцеву якість продукції. Встановлено, що точність вимірювань є ключовим фактором для зменшення кількості дефектів, оптимізації виробничих процесів та підвищення економічної ефективності підприємств. Забезпечення точності неможливе без регулярного калібрування вимірювальних інструментів.

2. Специфіка калібрування прецизійних інструментів: Проведений аналіз показав, що різні типи прецизійних інструментів, такі як нутроміри, мікрометри та штангенциркулі, потребують диференційованого підходу до калібрування через різницю у їх конструктивних особливостях. У дослідженні розглянуто особливості нутромірів індикаторних, які використовуються для вимірювання внутрішніх діаметрів, та їхню критичну роль у забезпеченні якості готової продукції. Підтверджено, що контроль умов калібрування (температура, вологість, вібрації) є важливим для мінімізації похибок.

3. Розробка методики калібрування нутромірів індикаторних: Основним науковим досягненням роботи є розробка детальної методики калібрування нутромірів індикаторних. Запропонована методика враховує сучасні стандарти (ISO 17025) та міжнародні метрологічні вимоги, що дозволяє підвищити якість та

надійність процесу калібрування. Це сприяє поліпшенню стандартизації та сертифікації виробничих процесів, що, у свою чергу, підвищує конкурентоспроможність підприємства на ринку.

4. Підвищення якості та стандартизація: Дослідження показало, що впровадження систематичного підходу до калібрування є важливою складовою для досягнення високих стандартів якості продукції. Регулярна перевірка індикаторних інструментів і дотримання міжнародних стандартів забезпечує відповідність продукції вимогам сертифікації та знижує ризики отримання неякісних результатів у виробничих процесах. Це особливо важливо для підприємств, що прагнуть відповідати суворим вимогам європейських та міжнародних ринків.

5. Вплив на сертифікацію та конкурентоспроможність: Запровадження розробленої методики калібрування сприяє підвищенню рівня стандартизації та сертифікації виробничих процесів відповідно до ISO 9001 та ISO 17025. Це не лише підвищує надійність продукції, але й дозволяє підприємствам отримувати відповідні сертифікати якості, що є критично важливим для виходу на міжнародні ринки та зміцнення позицій на внутрішньому.

6. Практичні рекомендації для впровадження: Розроблені рекомендації щодо організації процесу калібрування можуть бути інтегровані у виробничу практику для забезпечення високої точності вимірювань та підвищення якості продукції. Використання цифрових індикаторів, автоматизації процесів вимірювання та сучасного програмного забезпечення дозволить знизити ризики людського фактору та підвищити ефективність виробництва.

У підсумку, виконане дослідження підтвердило необхідність інтеграції новітніх методик калібрування, що базуються на міжнародних стандартах, для підвищення точності, якості та конкурентоспроможності продукції. Результати магістерської роботи можуть бути використані для подальших досліджень у сфері метрології та впровадження у виробничу практику, що дозволить підприємствам досягти вищого рівня стандартизації, сертифікації та задоволення потреб споживачів.

Список використаних джерел

1. Закон України № 1314-VII від 5 червня 2014 року «Про метрологію та метрологічну діяльність». https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18

2. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT; EN ISO/IEC 17025:2017, IDT)

3. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005 Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення (ГОСТ ИСО 5725-1-2003, IDT) https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72104

4. ISO/IEC GUIDE 99:2007 International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) (Міжнародний словник по метрології - Основні і загальні поняття і відповідні терміни (VIM)).

5. Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016 р. № 94. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text

6. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64030

7. Клименко Л. П. «Метрологія, стандартизація та управління якістю/Штангенінструменти» М.: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2011

8. Васілевський О. М., Поджаренко В.О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення: навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. 214 с.

9. Офіціний сайт Підприємство Мікротех. URL: https://microtechua.com/index.php?id_cms=27&controller=cms&id_lang=2

10. Нутроміри. URL: https://microtech-ua.com/index.php?id_category=57&controller=category&id_lang=2

11. ISO 13385-1 Geometrical Product Specifications (GPS) – Dimentional measuring equipment- Part 1 Callipers Design and metrological characteristics. URL:https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71149/16a0fb7fae30455a81bf64ef3c0806a0/ISO-13385-1-2019.pdf

12. ДСТУ ISO 3650:2009 Вимоги до геометричних розмірів виробів.

13. Еталони довжини. Кінцеві міри (ISO 3650:1998, IDT). URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91108

14. ДСТУ EN ISO/IEC17043:2017 (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT). Національний стандарт України. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня.

15. ТУ У 33.2-30291682-003-2004. Нутроміри індикатрні «МІКРОТЕХ». Технічні умови. Харків, 2004

16. Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України№193від 08.02.2016, Київ, Україна, 2016.

17. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725–2:2005 Точність (правильність прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності і відтворюваності стандартного методу вимірювання. https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=84968

18. ILAC-P14:09/2020 Политика ILAC щодо невизначеності при калібруванні. URL: https://ilac.org/about-ilac/partnerships/international-partners/bipm/

19. EA-4/02 M:2021 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration. - Date of Implementation. 05.11.2021. – EA Laboratory Committee, 2021.

20. В. Мотало, “Аналіз методик верифікації та калібрування засобів вимірювальної техніки”, у Мат. Всеукр. наук. техн. конф. “Technical Using of Measurement - 2019”, Славське, Україна, 2019, с. 18–20.

21. Software Support for Metrology: GPG 19 – Internet-enabled Metrology Systems (NPL Report DEM-ES 012), June 2006. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.internetcalibrations.com/[NPL%20Report]%20Software%20

22. М.М. Яценко, В.В. Рубан, В.І. Денисюк. Віртуальне калібрування вимірювальних приладів. Київ: Кондор, 2014. 256 с.

23. Шведова В.В. Інтернет-метрологія і її роль в сучасному інформатизованому суспільстві // Збірник статей учасників тридцять п'ятої Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторічча», м. Запоріжжя 2015 (24-27листопада 2015) – С. 37 – 39.

24. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення

25. ГОСТ 8.010-99 ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения (Державна система забезпечення єдності вимірювань. Методики виконання вимірювань. Загальні положення) https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=29902

26. Закон України «Про стандартизацію» від 5.06.2014 р. № 1315-VII

27. ДСТУ ISO/IEC 17000:2007 Оцінювання відповідності. Словник термінів і загальні принципи (ISO/IEC 17000:2004, IDT)

28. О.Малецька Повірка та калібрування засобів вимірювальної техніки на підприємстві: вирішення ключових проблем. Частина 1./О.Малецька.- Управління якістю: 2018, випуск 11.- с.32

29. О.Малецька Повірка та калібрування засобів вимірювальної техніки на підприємстві: вирішення ключових проблем. Частина 2./О.Малецька.- Управління якістю: 2018, випуск 12.- с.52

30. Роценко О.В., Комарова Г.Л. Впровадження нових технологій для підвищення точності при розробці сучасного прецизійного інструмента. Сучасна наука: інновації та перспективи: Матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців 6-7 квітня 2023р. м. Київ, вид-во: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, реєстр. УкрІНТЕІ №16 від 16.01.2023, 2023.С.372-375 https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/modern-science-innovations-and-perspectives.pdf

31. Сергєєв Д.М., Комарова Г.Л., Критерії обрання прецезійної координатно-вимірювальної машини. Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців 29-30 листопада 2023р. м. Київ, вид-во: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій https://drive.google.com/drive/folders/1trm30Fzy5vhbcSjBq12sbGT2Ewq-6My5

32. Комарова Г.Л., Сергєєв Д.М. Впровадження 3D метрологічного контролю при виробництві прецизійних корпусних деталей. Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 23-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 27–28 вересня 2023 р. Київ: АТМ України, 2023. с.37-40. https://atmu.net.ua/downloads/archive/sb3-23.pdf

33. Ільгов О.Є. Розробка методики калібрування для підвищення контролю якості презиційного інструменту. Тези доповідей. 84 студентська науково-технічна конференція УкрДУЗТ, 2024. https://kart.edu.ua/nauka/stud-ndr/stud-ntk

34. C. Ehrlich, S. Rasberry: Metrological timelines in traceability, J. Res. Natl.Inst. Stand. Technol. 103, 93–106 (1998)

35. EUROLAB:Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation, EUROLAB Tech. Rep. No. 1/2007 (EUROLAB, Paris 2007), http://www.eurolab.org

36. J CGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections): Evaluation of measurementdata — Guide to the expression of uncertainty in measurement / https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6

37. Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації : Наказ Мінекономрозвитку від 21.12.2015 № 1719 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0051-16#Text (дата звернення:11.11.2024)

Додаток А (Довідковий)

ПРИВАТНЕ НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО «МІКРОТЕХ»

(ПНВП «МІКРОТЕХ»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ПНВП « МІКРОТЕХ»

_____

"_____" _____ р.

ПРОЕКТ

Методика калібрування

НУТРОМІРИ ІНДИКАТОРНІ (МІКРОТЕХ®)

МК – 01.01/3:2016

Харків

2024

ЗМІСТ

С.

1 Сфера застосування 4

2 Нормативні посилання 4

3 Типи і основні технічні характеристики 5

4 Метод, операції та засоби калібрування 15

5 Умови проведення калібрування та вимоги до кваліфікації персоналу 17

6 Вимоги безпеки 17

7 Підготовка до калібрування 17

8 Проведення калібрування 18

9 Оцінка невизначеності вимірювань 31

10 Оформлення результатів калібрування 35

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Ця методика калібрування поширюється на нутроміри індикаторні з аналоговим та цифровим відліковим пристроєм Українського виробництва «МІКРОТЕХ» (далі – нутроміри), виготовлені по ТУ У 33.2-30291682-003-2004, СТП МК 15.11.038 МТУ, СТП МК 15.11.038-1 МТУ та аналогічні їм імпортні, що випускаються з виробництва, ремонту та знаходяться в експлуатації, і встановлює зміст та методику їх калібрування з розрахунком невизначеності відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019, EA – 4/02 M:2022, ILAC-P14:09/2020.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цій методиці калібрування є посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій

EA – 4/02 M:2022 Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні

DIN EN ISO 3650 Geometrical Product Specifications (GPS) – Length standards – Gauge Blocs

ДСТУ ILAC-G 24/OIMLD 10:2013 Настанова щодо визначення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки

ILAC-P14:09/2020 Политика ILAC щодо невизначенності при калібруваннні.

ДСТУ ГОСТ 577:2009 Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия

ДСТУ ГОСТ 4119:2009 Наборы принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам длины. Технические условия

ДСТУ ГОСТ 9038:2009 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия

ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.

ГОСТ 10875-76 Машины оптико-механические типа ИЗМ для измерения длин. Основные параметры и размеры. Технические требования

ГОСТ 14865-78 Кольца устаговочные к приборам для измерений диаметров отверстий. Технические условия

ГОСТ 14968-69 Микроскопы универсальные измерительные

ТУ У 33.2-30291682-003-2004 Нутроміри «МІКРОТЕХ» Технічні умови

СТП МК 06.10.005 МТУ Стенд випробувальний для динамометрів вертикального розташування ИСМ-2 (МИКРОТЕХ®). Технічні умови

СТП МК 15.10.016 МТУ Динамометры (МИКРОТЕХ®). Технічні умови

СТП МК 15.11.038 МТУ Нутроміри індикаторні МІКРОТЕХ®. Технічні умови

СТП МК 15.11.038-1 МТУ Нутроміри індикаторні МІКРОТЕХ®. Технічні умови

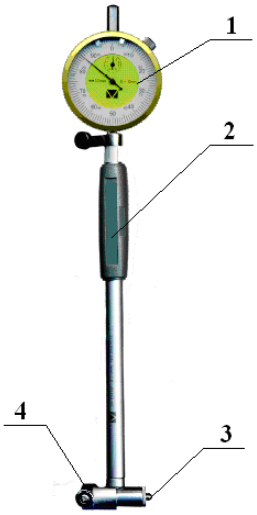
СТП МК 15.07.009 МТУ Стенд МІКРОТЕХ® для калібрування індикаторів і нутромірів. Технічні умови

3 ТИПИ ТА ОСНОВНІ ТЕХНИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1 Нутроміри призначені для вимірювання внутрішніх розмірів виробів відносним методом.

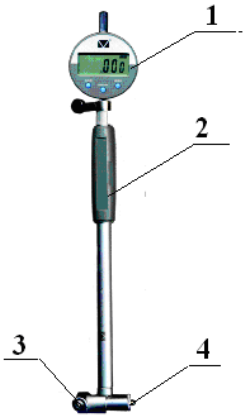
3.2 Типи нутромірів:

- НИ (НИПТ)- нутроміри індикаторні з діапазоном вимірювань від 3 мм до 1000 мм, з ціною поділки аналогового відлікового пристрою 0,001 мм, 0,002 мм, 0,005 мм та 0,01 мм (рисунок 1);
- НИЦ- нутроміри індикаторні з діапазоном вимірювань від 3 мм до 1000 мм, з дискретністю цифрового відлікового пристрою 0,001 мм, 0,002 мм, 0,005 мм та 0,01 мм (рисунок 2).
- НТЦИ – нутромір трьохточковий цифровий індикаторний пістолетного типу



1 - аналоговий відліковий пристрій; 2 - ручка; 3 - нерухомий вимірювальний стрижень; 4 - центруючий мостик

Рисунок 1 – Нутромір індикаторний НИ



1 – цифровий відліковий пристрій; 2 - ручка; 3 - нерухомий вимірювальний стрижень; 4 - центруючий мостик

Рисунок 2 – Нутромір индикаторний НИЦ

Примітка 2. Рисунки 1 та 2 не визначають конструкцію нутромірів.

3.3 Основні параметри нутромірів наведені в таблицях 1-11.

Таблиця 1 – Нутроміри індикаторні з аналоговим та цифровим відліковим пристроєм ***НИ та НИЦ*** з ціною поділки, дискретністю відліку 0,01 мм, 0,001 мм та 0,002 мм, виготовлених по ***ТУ У 33.2-30291682-003-2004***

Тип нутроміра	Діапазон вимірювань, мм	Вимірювальне зусилля, Н				Найменше переміщення вимірювального стрижня, мм, для нутромірів з ціною поділки (дискретністю відліку),мм	
		нутроміра с ціною поділкі (дискретністю відліку), мм		центруючого мостика (для нутромірів з центруючим мостиком) з ціною поділки (дискретністю відліку), мм			
		0,01	0,001/ 0,002	0,01	0,001/ 0,002	0,01	0,001/ 0,002
НИ-3-4 НИЦ-3-4	3-4	1,0-3,0		-		-	
НИ-4-6 НИЦ-4-6	4-6						

<table>
<tr><td>НИ-6-10
НИЦ-6-10</td><td>6-10</td><td rowspan="5">2,5-4,5</td><td rowspan="5">2,5-3,5</td><td rowspan="5">5,0-8,5</td><td>4,2-6,0</td><td colspan="2">0,6</td></tr>
<tr><td>НИ-10-18
НИЦ-10-18</td><td>10-18</td><td rowspan="4">5,0-9,5</td><td>0,8</td><td>0,7</td></tr>
<tr><td>НИ-18-35
НИЦ-18-35</td><td>18-35</td><td rowspan="4">1,5</td><td rowspan="9">1,0</td></tr>
<tr><td>НИ-35-50
НИЦ-35-50</td><td>35-50</td></tr>
<tr><td>НИ-18-50
НИЦ-18-50</td><td>18-50</td></tr>
<tr><td>НИ-50-100
НИЦ-50-100</td><td>50-100</td><td colspan="2">4,0-7,0</td><td colspan="2">7,5-12,0</td></tr>
<tr><td>НИ-50-160
НИЦ-50-160</td><td>50-160</td><td colspan="2" rowspan="6">5,0-9,0</td><td colspan="2" rowspan="6">9,5-16,0</td><td rowspan="6">2,4</td></tr>
<tr><td>НИ-100-250
НИЦ-100-250</td><td>100-250</td></tr>
<tr><td>НИ-160-250
НИЦ-160-250</td><td>160-250</td></tr>
<tr><td>НИ-250-450
НИЦ-250-450</td><td>250-450</td></tr>
<tr><td>НИ-250-600
НИЦ-250-600</td><td>250-600</td></tr>
<tr><td>НИ-250-800
НИЦ-250-800</td><td>250-800</td></tr>
</table>

Таблиця 2 – Границя допустимої похибки нутромірів ***НИ та НИЦ*** з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,01 мм, виготовлених по ***ТУ У 33.2-30291682-003-2004***

<table>
<tr><td rowspan="3">Діапазон вимірювань, мм</td><td colspan="6">Границя допустимої похибки, мм</td></tr>
<tr><td colspan="4">на будь-якій ділянці діапазону вимірювань</td><td colspan="2">при переміщенні вимірювального стрижня на величину нормованого найменшого значення</td></tr>
<tr><td colspan="2">в 0,1 мм</td><td colspan="2">в 1,0 мм</td><td rowspan="2">1 кл.т.</td><td rowspan="2">2 кл.т.</td></tr>
<tr><td>1 кл.т.</td><td>2 кл.т.</td><td>1 кл.т.</td><td>2 кл.т.</td></tr>
<tr><td>3-4; 4-6;
6-10; 10-18</td><td rowspan="2">0,005</td><td rowspan="2">0,008</td><td>-</td><td>-</td><td>0,008</td><td>0,012</td></tr>
<tr><td>18-35; 18-50;
35-50</td><td rowspan="2">0,010</td><td rowspan="2">0,012</td><td>0,012</td><td>0,015</td></tr>
<tr><td>50-100
50-160
100-250
160-250</td><td rowspan="2">-</td><td rowspan="2">-</td><td>0,015</td><td>0,018</td></tr>
<tr><td>250-450
250-600
250-800</td><td>-</td><td>0,014</td><td>-</td><td>0,022</td></tr>
<tr><td colspan="7">Примітка. За похибку нутромера приймають:
- суму найбільших абсолютних значень позитивних та негативних показань на будь-якої контрольованої ділянці діапазону вимірювань, якщо відхилення контрольованих інтервалів мають різні знаки;
- найбільше позитивне або негативне показання, якщо відхилення інтервалів, що контролюються, мають однакові знаки.</td></tr>
</table>

Таблиця 3 - Границя допустимої похибки нутромірів індикаторних ***НИ та НИЦ*** з ціною поділкі (дискретністю відліку) 0,001 та 0,002 мм, виготовлених по ***ТУ У 33.2-30291682-003-2004***

Діапазон вимірювання, мм	Границя допустимої похибки, мкм		Похибка центрування, мкм (для нутромірів з центруючим мостиком)	Розмах показань, мкм	Допустимі відхилення температури від 20 ºС, ± ºС
	з аналоговим відліковим пристроєм для нутромірів з діапазоном вимірювань до 10 мм з ціною поділки 0,001 мм на будь-якій ділянці - 0,05 мм, для нутромірів з діапазоном вимірювань св. 10 мм з ціною поділки 0,002 мм на будь-якій ділянці -0,1 мм від нульового штриха	з цифровим відліковим пристроєм			
3-4; 4-6	±1,8	± 3,0	1	1	4
6-10; 10-18	± 3,5	± 4,0	2	2	
18-35; 35-50					3
50-100 50-160 100-250 160-250	± 4,0	± 5,0			2
250-450	± 8,0	± 8,0	3	3	1
250-600	± 10,0	±10,0	4	4	
250-800	± 12,0	±12,0			

Таблиця 4 – Границя допустимої похибки нутромірів ***НИПТ*** з дискретністю відліку 0,001 мм, виготовлених по ***СТП МК 15.11.038-1 МТУ***

Код	Тип	Діапазон вимірювань, мм	Глибина вимірювань, мм	Клас точності	Границя допустимої похибки, мм
131010800	НИПТ-10	6-10	50	-	± 0,003
131018800	НИПТ-18	10-18	50	-	± 0,003
131050800	НИПТ-50	18-50	150	-	± 0,003
131050811	НИПТ-50/0,5	18-50	500	-	± 0,004
131050822	НИПТ-50/1	18-50	1000	-	± 0,006
131050844	НИПТ-50/2	18-50	2000	-	± 0,009
131050845	НИПТ-50/5	35-50	3000	-	± 0,012
131160800	НИПТ-160	50-160	150	-	± 0,003
131160811	НИПТ-160/0,5	50-160	500	-	± 0,005
131160822	НИПТ-160/1	50-160	1000	-	± 0,007
131160844	НИПТ-160/2	50-160	2000	-	± 0,009
131160855	НИПТ-160/5	85-160	5000	-	± 0,012
131250800	НИПТ-250	100-250	314	-	± 0,005
131250811	НИПТ-250/0,5	160-250	500	-	± 0,007

131250822	НИПТ-250/1	160-250	1000	-	± 0,009
131250844	НИПТ-250/2	160-250	2000	-	± 0,010
131250855	НИПТ-250/5	160-250	5000	-	± 0,015
131250890	НИПТ-250/10	205-250	10000	-	± 0,020
131450800	НИПТ-450	250-450	400	-	± 0,008
131450822	НИПТ-450/1	250-450	1000	-	± 0,010
131450844	НИПТ-450/2	250-450	2000	-	± 0,015
131450855	НИПТ-450/5	250-450	5000	-	± 0,020
131450890	НИПТ-450/10	250-450	10000	-	± 0,025
131800800	НИПТ-800	400-800	400	-	± 0,009
131800822	НИПТ-800/1	400-800	1000	-	± 0,014
131800844	НИПТ-800/2	400-800	2000	-	± 0,020
131800855	НИПТ-800/5	400-800	5000	-	± 0,025
131800890	НИПТ-800/10	400-800	10000	-	± 0,030
131450800	НИПТ-1000	700-1000	400	-	± 0,012
131450822	НИПТ-1000/1	700-1000	1000	-	± 0,015
131450844	НИПТ-1000/2	700-1000	2000	-	± 0,025
131450855	НИПТ-1000/5	700-1000	5000	-	± 0,030
131450890	НИПТ-1000/10	700-1000	10000	-	± 0,040

Таблиця 5 - Основні техничні характеристики нутромірів індикаторних ***НИ, НИПТ та НИЦ*** з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм, 0,002 мм, 0,005 мм та 0,01 мм, виготовлених по ***СТП МК 15.11.038 МТУ***

Діапазон вимірювань, мм	Глибина вимірювання, мм, не більше	Границя допустимої похибки, мм							
		ціна поділки (дискретність відліку) 0,005 мм та 0,01 мм						ціна поділки (дискретність відліку) 0,001 мм та 0,002 мм	
		на будь-якій ділянці діапазону вимірювань				при переміщенні вимірювального стрижня на величину нормованого найменшого значення		при переміщенні вимірювального стрижня на: - увесь діапазон вимірювань відлікового пристрою (НИПТ); -величину нормованого найменшого значення (НИЦ)	центрування, (для нутромірів з центруючим мостиком)
		в 0,1 мм		в 1,0 мм					
		1 кл.т.	2 кл.т.	1 кл.т.	2 кл.т.	1 кл.т.	2 кл.т.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3-4	-	0,005	0,010	-	-	0,010	0,015	0,002	0,001
4-6	-							0,002	
6-10	80							0,003	
10-18	100							0,003	
18-35	150					0,010	0,015	0,003	0,001
	500							0,004	0,002
	1000			0,010	0,015	0,015	0,020	0,005	

	2000							0,006	

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18-50	150	0,005	0,010	0,005	0,010	0,010	0,015	0,003	0,001
	500							0,004	0,002
	1000			0,010	0,015	0,015	0,020	0,005	
	2000							0,006	
	3000					0,020	0,025	0,007	0,003
	4000							0,008	
	5000							0,008	
	10000			0,015	0,020	0,025	0,030	0,011	
35-50	150			0,005	0,010	0,010	0,015	0,003	0,001
	500							0,004	0,002
	1000			0,010	0,015	0,015	0,020	0,005	
	2000							0,006	
	3000					0,020	0,025	0,007	0,003
	4000							0,008	
	5000							0,008	
	10000			0,015	0,020	0,025	0,030	0,011	
50-100	150	-	-	0,010	0,015	0,015	0,020	0,003	0,001
	500							0,004	0,002
	1000					0,020	0,025	0,005	
	2000							0,006	
	3000							0,007	0,003
	4000			0,015	0,020	0,025	0,030	0,008	
	5000							0,008	
	10000			0,020	0,025	0,035	0,040	0,011	
50-160	150			0,010	0,015	0,015	0,020	0,003	0,001
	500							0,004	0,002
	1000					0,020	0,025	0,005	
	2000							0,006	
	3000							0,007	0,003
	4000			0,015	0,020	0,025	0,030	0,008	
	5000							0,008	
	10000			0,020	0,025	0,035	0,040	0,011	
100-250	314	-	-	0,010	0,015	0,015	0,020	0,005	0,002
	1000					0,020	0,025	0,006	
	2000							0,007	
	3000							0,006	
	4000			0,015	0,020	0,025	0,030	0,007	0,003
	5000							0,009	
	10000			0,020	0,025	0,035	0,040	0,012	
160-250	500			0,010	0,015	0,015	0,020	0,005	0,002
	1000					0,020	0,025	0,006	
	2000							0,007	
	3000			0,015	0,020	0,025	0,030	0,007	0,003
	4000							0,008	
	5000			0,020	0,025	0,030	0,035	0,009	
	10000					0,040	0,050	0,012	

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
250-450	500	-	-	-	0,015	0,020	0,025	0,008	0,003
	1000				0,020	0,025	0,030	0,009	
	2000							0,010	
	3000				0,025	0,030	0,040	0,011	
	4000							0,012	
	5000					0,035	0,040	0,012	

	10000					0,045	0,050	0,015	0,004
250-600	500				0,015	0,020	0,025	0,010	0,003
	1000				0,020	0,025	0,030	0,011	
	2000							0,012	
	3000				0,025	0,030	0,035	0,013	0,004
	4000							0,014	
	5000				0,025	0,035	0,040	0,015	
	10000				0,030	0,050	0,060	0,018	0,005
250-800	500				0,020	0,020	0,030	0,012	0,003
	1000				0,025	0,025	0,040	0,013	
	2000							0,014	0,004
	3000					0,030	0,050	0,015	
	4000							0,016	0,005
	5000				0,030	0,040	0,060	0,016	
	10000				0,040	0,055	0,080	0,020	0,006
400-800	500				0,020	0,020	0,030	0,009	0,003
	1000				0,025	0,025	0,040	0,011	0,004
	2000							0,012	
	3000					0,030	0,050	0,015	
	4000							0,016	0,005
	5000				0,030	0,040	0,060	0,015	
	10000				0,040	0,055	0,080	0,018	0,007
700-1000	500				0,025	0,030	0,040	0,012	0,004
	1000					0,035	0,050	0,013	
	2000							0,015	0,005
	3000				0,030	0,040	0,060	0,017	
	4000							0,018	0,007
	5000				0,035	0,045	0,070	0,020	
	10000				0,040	0,060	0,090	0,023	

Примітка. За похибку нутромера приймають:
- суму найбільших абсолютних значень позитивних та негативних показань на будь-якої контрольованої ділянці діапазону вимірювань, якщо відхилення контрольованих інтервалів мають різні знаки;
- найбільше позитивне або негативне показання, якщо відхилення інтервалів, що контролюються, мають однакові знаки.

Таблиця 6 - Вимірювальне зусилля, зусилля центруючого мостика та найменше переміщення вимірювального стрижня нутромірів ***НИ, НИПТ та НИЦ***, виготовлених по ***СТП МК 15.11.038 МТУ***

Тип нутроміра	Діапазон вимірювань, мм	Вимірювальне зусилля, Н				Найменше переміщення вимірювального стрижня, мм, для нутромірів з ціною поділки (дискретністю відліку), мм		Розмах показань для нутромірів з дискретністю відліку 0,001 и 0,002 мм
		нутроміра з ціною поділки (дискретністю відліку), мм		центруючого мостика (для нутромірів з центруючим містком) з ціною поділки (дискретністю відліку), мм				
		0,005/ 0,01	0,001/ 0,002	0,005/ 0,01	0,001/ 0,002	0,005/ 0,01	0,001/ 0,002	
НИ-3-4 НИЦ-3-4	3-4	1,0-3,0		-		-		0,001
НИ-4-6 НИЦ-4-6	4-6							
НИ-6-10 НИЦ-6-10	6-10	2,5-4,5	2,5-3,5	5,0-8,5	4,2-6,0	0,6		0,002
НИ-10-18 НИЦ-10-18	10-18				5,0-9,5	0,8	0,7	
НИ-18-35 НИЦ-18-35	18-35					1,5	1,0	
НИ-35-50 НИЦ-35-50	35-50							0,003

НИ-18-50 НИЦ-18-50	18-50							
НИ-50-100 НИЦ-50-100	50-100	4,0-7,0		7,5-12,0				
НИ-50-160 НИЦ-50-160	50-160	5,0-9,0		9,5-16,0		2,4		
НИ-100-250 НИЦ-100-250	100-250							
НИ-160-250 НИЦ-160-250	160-250							
НИ-250-450 НИЦ-250-450	250-450							
НИ-250-600 НИЦ-250-600	250-600							
НИ-250-800 НИЦ-250-800	250-800							
НИ-400-800 НИЦ-400-800	400-800							0,004
НИ-700-1000 НИЦ-700-1000	700-1000					7,0	5,0	

Таблиця 7 – Границя допустимої похибки нутромірів ***НИ*** з ціною поділкі 0,01 мм, виготовлених по ***СТП МК 15.11.038-1 МТУ***

Код	Тип	Діапазон вимірювань, мм	Глибина вимірювань, мм	Клас точності	Границя допустимої похибки, мм
131010200	НИ-10	6-10	50/80	1	± 0,008
131010100				2	± 0,012
131018200	НИ-18	10-18	50/100	1	± 0,008
131018100				2	± 0,012
131050200	НИ-50	18-50	150	1	± 0,012
131050100				2	± 0,015
131050211	НИ-50	18-50	500	-	± 0,012
131050222	НИ-50	18-50	1000	-	± 0,012
131050244	НИ-50	18-50	2000	-	± 0,012
131160100	НИ-160	50-160	150	1	± 0,015
131160200				2	± 0,018
131160211	НИ-160	50-160	500	-	± 0,015
131160222	НИ-160	50-160	1000	-	± 0,015
131160244	НИ-160	50-160	2000	-	± 0,015
131250200	НИ-250	160-250	314	1	± 0,015
131250100	НИ-250	160-250		2	± 0,018
131250211	НИ-250	160-250	500	-	± 0,015
131250222	НИ-250	160-250	1000	-	± 0,015
131250244	НИ-250	160-250	2000	-	± 0,015
131450211	НИ-450	250-450	500	-	± 0,022
131450222	НИ-450	250-450	1000	-	± 0,022
131450244	НИ-450	250-450	2000	-	± 0,022
131800200	НИ-800	400-800	400	-	± 0,030
131800222	НИ-800	400-800	1000	-	± 0,030
131800244	НИ-800	400-800	2000	-	± 0,030
131450211	НИ-1000	700-1000	500	-	± 0,030
131450222	НИ-1000	700-1000	1000	-	± 0,030
131450244	НИ-1000	700-1000	2000	-	± 0,030

Таблиця 8 – Границя допустимої похибки нутромірів ***НИЦ*** з дискретністю відліку 0,01 мм, виготовлених по ***СТП МК 15.11.038-1 МТУ***

Код	Тип	Діапазон вимірювань, мм	Глибина вимірювань, мм	Границя допустимої похибки, мм
131010300	НИЦ-10	6-10	50	± 0,008
131018300	НИЦ-18	10-18	50	± 0,012
131010300	НИЦ-10	6-10	80	± 0,008
131018300	НИЦ-18	10-18	100	± 0,008
131050300	НИЦ-50	18-50	150	± 0,012
131160300	НИЦ-160	50-160	150	± 0,015
131250300	НИЦ-250	160-250	314	± 0,015
131450311	НИЦ-450	250-450	500	± 0,022
131800300	НИЦ-800	400-800	400	± 0,030
131450311	НИЦ-1000	700-1000	500	± 0,030

Таблиця 9 – Границя допустимої похибки нутромірів комп'ютерних суб-мікронних ***НИК*** з дискретністю відліку 0,0001 мм, виготовлених по ***СТП МК 15.11.038-1 МТУ***

Тип	Діапазон вимірювань, мм	Глибина вимірювань, мм	Границя допустимої похибки, мм	Розмах показань для нутромірів з дискретністю відліку 0,001 мм
1	2	3	4	5
НИК-3	2,3-3,8	45	± 0,0030	0,0005
НИК-9	4,3-9,7	45	± 0,0030	0,0005
НИК-10	6-10	45	± 0,0030	0,0005
НИК-10	6-10	50	± 0,0025	0,0005
НИК-18	10-18	45	± 0,0030	0,0005
НИК-18	10-18	50	± 0,0025	0,0005
НИК-50	18-50	150	± 0,0025	0,0005
	18-50	150	± 0,0030	0,0005
		500	± 0,0040	0,0010
		1000	± 0,0040	0,0010
		2000	± 0,0050	0,0010
НИК-160	50-160	150	± 0,0025	0,0005
		150	± 0,0030	0,0005
		500	± 0,004	0,0010
		1000	± 0,004	0,0010
		2000	± 0,005	0,0010
НИК-250	100-250	200	± 0,004	0,0010
НИК-250	160-250	200	± 0,005	0,0010
		500	± 0,006	0,0015
		1000	± 0,006	0,0015
		2000	± 0,007	0,0020
НИК-150-470	150-470	1000	± 0,006	0,0015
НИК-450	250-450	200	± 0,007	0,0020
	250-450	200	± 0,008	0,0030
		500	± 0,009	0,0030
		1000	± 0,009	0,0030
		2000	± 0,010	0,0040
НИК-800	400-800	400	± 0,008	0,0030
	400-800	400	± 0,009	0,0030

		1000	± 0,011	0,0040
		2000	± 0,012	0,0040
НИК-1000	700-1000	400	± 0,010	0,0040
	700-1000	400	± 0,012	0,0040
		1000	± 0,014	0,0050
		2000	± 0,015	0,0050
НИК-1500	130-1500	500	± 0,012	0,0040

Основні технічні характеристики нутромірів (пістолет) НТЦИ вказані в таблиці 10.

Таблиця 10

Код	Діапазон вимірювань, мм	Дискретність відліку, мм	Границя допустимої похибки на всьому діапазоні вимірювання, мм	Максимальна глибина вимірювань, мм, не менше	Радіус кривизни вимірювальних поверхонь трьохріжкового щупа, мм, не більше
133500810	6-8	0,0001	±0,003	50	60,0
133501010	8-10				
133501210	10-12				
133501610	12-16			65	
133502010	16-20				
133502510	20-25			91	

код	Діапазон вимірювань, мм	Дискретність відліку, мм	Границя допустимої похибки на всьому діапазоні вимірювання, мм	Максимальна глибина вимірювань, мм, не менше	Радіус кривизни вимірювальних поверхонь трьохріжкового щупа, мм, не більше
133503010	25-30	0,0001	±0,003	91	
133504010	30-40			97	
133505010	40-50		±0,004		
133506310	50-63			112	
133507510	62-75				
133508810	75-88				
133510010	87-100				
133512510	100-125			130	
133515010	125-150				
133517510	150-175				
133520010	175-200				
133522510	200-225		±0,006		
133525010	225-250				
133527510	250-275				
133350010	275-300				

Основні технічні характеристики нутромірів (пістолет), виготовлених **Sylvac** вказані в таблиці 11.

Таблиця 11

Код	Діапазон вимірювань, мм	Дискретність відліку, мм	Границя допустимої похибки на всьому діапазоні вимірювання, мм	Максимальна глибина вимірювань, мм, не менше	Радіус кривизни вимірювальних поверхонь трьохріжкового щупа, мм, не більше

954.5006	2-2,5	0,001	±0,004	9	60,0
954.5007	2,5-3				
954.5008	3-4			12	
954.5009	4-5			18	
954.5010	5-6				
954.5011	6-8			58	
954.5012	8-10				
954.5013	10-12,5				
954.5014	12,5-16			62	
954.5015	16-20				
954.5016	20-25			66	
954.5017	25-35				
954.5018	35-50			80	
954.5019	50-65		±0,005		
954.5020	65-80				
954.5021	80-100			85	
954.5022	100-125		±0,006	100	
954.5023	125-150				
954.5024	150-175		±0,007		
954.5025	175-200				
954.5026	200-225		±0,008		
954.5027	225-250			103	
954.5028	250-275		±0,009		
954.5029	275-300				

3.4 Відліковий пристрій, що входить до складу нутромірів індикаторних, не є самостійним засобом вимірювальної техніки та використовується тільки в якості відлікового пристрою нутроміра.

3.5 Границя допустимої похибки нутромірів ***НИ та НИЦ***, що вноситься неточним розташуванням центруючого мостика (для нутромірів з центруючим мостиком), виготовлених за ТУ У 33.2-30291682-003-2004, СТП МК 15.11.038 МТУ та СТП МК 15.11.038-1 МТУ з ціною поділки (дискретністю відліку) ***0,01 мм та 0,005 мм***, не повина перевищувати:

- для нутромірів НИ- 1/3 ціни поділки шкали відлікового пристрою;
- для нутромірів НИЦ (при вертикальному розташуванні нутромера) - 1 одиниця дискретності відліку.

Границя допустимої похибки нутромірів ***НИ, НИПТ та НИЦ***, що вноситься неточним розташуванням центруючого мостика (для нутромірів з центруючим мостиком), виготовлених за ТУ У 33.2-30291682-003-2004, СТП МК 15.11.038 МТУ з ціною поділки (дискретністю відліку) ***0,001 мм та 0,002 мм***, не повинна перевищувати значень, вказаних в таблицях 3 та 4.

3.6 Розмах показань нутромерів ***НИ та НИЦ***, виготовлених по ТУ У 33.2-30291682-003-2004, СТП МК 15.11.038 МТУ та СТП МК 15.11.038-1 МТУ з ціною поділки (дискретністю відліку) ***0,01 мм та 0,005 мм*** не повинен перевищувати:

- для нутромірів НИ – 1/3 ціни поділки шкали відлікового пристрою;
- для нутромірів НИЦ – 1 одиниця дискретності відліку.

Розмах показань нутромерів ***НИ, НИПТ та НИЦ***, виготовлених по ТУ У 33.2-30291682-003-2004 та СТП МК 15.11.038 МТУ, з ціною поділки (дискретністю відліку) ***0,001 мм та 0,002 мм*** не повинен перевищувати значень, вказаних в таблицях 3 та 5.

3.7 Максимальна глибина вимірювань нутромірів НИ та НИЦ, виготовлених по ТУ У 33.2-30291682-003-2004, повинна відповідати вимогам експлуатаційної та конструкторської документації, затвердженої в установленому порядку.

4 МЕТОД, ОПЕРАЦІЇ ТА ЗАСОБИ КАЛІБРУВАННЯ

4.1 При калібруванні нутромірів використовується прямий метод вимірювання.

4.2 При проведенні калібрування повинні бути виконані операції, застосовані засоби вимірювальної техніки (далі - ЗВТ) і допоміжне обладнання, зазначені в таблиці 8.

Таблиця 8

Найменування операції калібрування	Пункт методики калібрування	ЗВТ і допоміжне обладнання, що застосовуються при калібруванні
Зовнішній огляд	8.1	Візуально, без застосування ЗВТ
Опробування	8.2	Візуально, без застосування ЗВТ
Визначення шорсткості вимірювальних поверхонь нутроміра та опорних центруючого мостика	8.3	Зразки шорсткості поверхні Ra 0,16 мкм і 0,63 мкм по ГОСТ 2789
Визначення вимірювального зусилля та зусилля центруючого мостика	8.4	Стенд випробувальний для динамометрів вертикального розташування ИСМ-2 (МІКРОТЕХ) по СТП МК 06.10.005 МТУ; динамометр аналоговий пружин-ний ДА-10 і ДА-100 (МІКРОТЕХ) по СТП МК 15.10.016 МТУ
Визначення радіуса сфери вимірювальних поверхонь стрижнів	8.5	Голівка профільна для вимірювання радіусів до мікроскопа універсального УИМ по ГОСТ 14968
Визначення діапазону переміщення вимірювального стрижня	8.6	Індикатор по ГОСТ 577
Визначення розмаху показань	8.7	Пристосування для калібрування нутро-мірів по СТП МК 15.07.009 МТУ; машина оптико-механічна для вимірювання дов-жини ИЗМ по ГОСТ 10875; міри довжини кінцеві плоскопаралельні кл. т. 2 по DIN EN ISO 3650 або ДСТУ ГОСТ 9038; приладдя до плоскопаралельних кінцевих мір довжини по ДСТУ ГОСТ 4119; кільця еталонні по ТУ2.034.45-87 (СТП МК 10.11.002 МТУ)

Найменування операції калібрування	Пункт методики калібрування	ЗВТ і допоміжне обладнання, що застосовуються при калібруванні
Визначення абсолютної похибки	8.8	Пристосування для калібрування нутромірів з ц.п. 0,01 і 0,001 мм по СТП МК 15.07.009 МТУ; міри довжини кін-цеві плоскопаралельні кл. т. 1 по DIN EN ISO 3650 або ДСТУ ГОСТ 9038; машина оптико-механічна для вимірювання довжини по ГОСТ 10875; приладдя до плоскопаралельних кінцевих мір довжи-ни по ДСТУ ГОСТ 4119; довжиномір Labconcept LABC 1000; кільця еталонні по ТУ2.034.45-87 СТП МК 10.11.002 МТУ
Визначення похибки центрування, що вноситься	8.9	Міри довжини кінцеві плоскопаралельні кл. т. 0 по DIN EN ISO 3650 або ДСТУ ГОСТ 9038;

неточним розташуванням центруючого мостика		приладдя до кінцевих мір довжини плоскопаралельних по ДСТУ ГОСТ 4119; кільця установочні по ГОСТ 14865; кільця еталонні по ТУ2.034.45-87 (СТП МК 10.11.002 МТУ); мікроскоп універсальний вимірювальний типа УИМ по ГОСТ 14968
Оцінка невизначеності вмірювань	8.10	-
Примітка 1. Об'єм робіт з калібрування визначається за погодженням із Замовником. **Примітка 2.** Визначення абсолютної похибки здійснюється згідно до технічних вимог діючих ДСТУ, ДСТУ ГОСТ, ТУ, СТП та інших стандартів, які поширюються на нутроміри.		

4.3 Міжкалібровочний інтервал ЗВТ встановлюється за погодженням із Замовником відповідно до п.2 ДСТУ ILAC-G 24/OIMLD 10:2013.

4.4 ЗВТ, що застосовуються при калібруванні, повинні мати діючі сертифікати про калібрування.

4.5 Допускається заміна зазначених ЗВТ іншими типами ЗВТ з такими ж або кращими метрологічними характеристиками, які мають діючі сертифікати про калібрування.

5 УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ КАЛІБРУВАННЯ ТА ВИМОГИ ДО КВАЛІФІКАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ

Умови проведення калібрування нутромірів визначаються за допомогою термогігрометру Trotec BZ05.

5.1 Температура повітря в приміщенні повинна відповідати зазначеній в таблиці 9.

Таблиця 9

Ціна поділки (дискретність відліку) відлікового пристрою нутроміра, мм	Діапазон вимірювань нутроміра, мм	Температура повітря в приміщенні, ºС
0,005; 0,01	від 3 до 1000	20 ± 5
0,001;0,002	від 3 до 18	20 ± 4
	від 18 до 50	20 ± 3
	від 50 до 250	20 ± 2
	від 250 до 1000	20 ± 1

5.2 Відносна вологість повітря проведення калібрування нутромірів повинна бути (60± 20) %.

5.3 В ході калібрування необхідно проводити контроль температури повітря в приміщенні, робочих еталонів, обладнання, що використовується під час калібрування, та ЗВТ, які калібруються, за допомогою спеціального накладного термометра типу ТЛ.

Значення температури необхідно реєструвати в протоколах калібрування на початку та наприкінці процедури калібрування.

5.4 До проведення калібрування повинні бути допущені особи, які мають необхідну кваліфікацію та атестовані на право проведення калібрування нутромірів.

6 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

6.1 При підготовці до проведення калібрування слід дотримуватися правил пожежної безпеки, встановлені при роботі з легкозаймистими рідинами, до яких відноситься бензин, який використовується для промивання вимірювальних поверхонь нутромірів та застосовуваних ЗВТ.

7 ПІДГОТОВКА ДО КАЛІБРУВАННЯ

7.1 Перевірити статус калібрування ЗВТ, что застосовуються при калібруванні, шляхом встановлення чинності відповідних сертифікатів.

7.2 Перед проведенням калібрування нутроміри та ЗВТ, що використовуються під час калібрування, повинні бути приведені в робочий стан відповідно до експлуатаційних документів та витримані:

- не менше трьох годин для нутромірів з діапазоном вимірювання від 3 мм до 50 мм;
- не менше п'яти годин для нутромірів з діапазоном вимірювання св. 50 мм до 1000 мм.

7.2 Вимірювальні поверхні нутромірів та ЗВТ, що використовуються під час калібрування,

повинні бути промиті серветкою, змоченою бензином, для видалення антикорозійного мастила та протерті чистою бавовняною тканиною.

8 ПРОВЕДЕННЯ КАЛІБРУВАННЯ

8.1 Зовнішній огляд

8.1.1 Нутроміри повинні бути укомплектовані згідно з відповідним розділом настанови щодо експлуатування.

При зовнішньому огляді має бути встановлено наявність товарного знака підприємства-виробника, порядкових номерів та умовних позначень року випуску.

На вимірювальних та інших поверхнях нутромірів не повинно бути слідів корозії та дефектів, що впливають на експлуатаційні якості.

На дисплеї цифрових відлікових пристроїв нутромірів не повинно бути дефектів, що перешкоджають зняттю відліку.

8.1.2 Вимоги до нутромірів індикаторних НИ з аналоговим відліковим пристроєм

В неробочому стані нутроміра з аналоговим відліковим пристроєм стрілка відлікового пристрою повинна знаходитися:

-для нутромірів з ціною поділки 0,005 мм та 0,01 мм - зліва від напрямку осі вимірювального стрижня не менше, ніж на 10 поділок;

- для нутромірів з ціною поділки 0,001 мм та 0,002 мм - зліва поза шкалою на відстані не менше, ніж 2 мм від останнього оцифрованого штриха (для аналогового відлікового пристрою важільно-зубчастого типу) або зліва від напрямку осі вимірювального стрижня на відстані не менше 20 поділок (для аналогового відлікового пристрою багатооборотного типу).

8.2 Опробування

8.2.1 При опробуванні нутроміра перевіряють:

- можливість угвинчування від руки в корпус нутроміра змінних вимірювальних вставок та надійність кріплення прикладеним до приладу кріпильним інструментом в необхідному положенні;
- надійність кріплення в корпусі нутроміра відлікового пристрою;
- плавність переміщення рухомого вимірювального стрижня нутроміра та центруючого мостика (для нутромірів з центрируючим мостиком).

8.2.2 При опробуванні нутроміра з аналоговим відліковим пристроєм додатково перевіряють:

- плавність переміщення стрілки відлікового пристрою;
- можливість установки механізму відлікового пристрою нутроміра на нульову позначку шкали.

8.3 Визначення шорсткості вимірювальних поверхонь нутроміра та опорних центруючого мостика

Параметр шорсткості Ra робочих поверхонь нутроміра визначають візуально порівнянням із зразками шорсткості поверхні.

Шорсткість Ra вимірювальних поверхонь повинна бути не быльше:

- вимірювальних поверхонь стрижнів - 0,16 мкм;
- опорних поверхонь центруючого мостика - 0,63 мкм.

8.4 Визначення вимірювального зусилля та зусилля центруючого мостика

Вимірювальне зусилля нутромірів визначають за допомогою стенда випробувального з динамометром типу ДА.

Схема контролю вимірювального зусилля нутромірів приведена на рисунку 3 .

8.4.1 Плавно опускають направляючу стенда з закріпленим динамометром за допомогою маховика до зіткнення накінечника динамометра з рухомим вимірювальним стрижнем нутроміра та помічають початок переміщення стрілки відлікового пристрою (у нутромірів типу НИ) або початок відліку по цифровому відліковому пристрою (у нутромірів типу НИЦ). Знімають значення зусилля нутроміра за шкалою динамометра. Такі ж показання знімають в середині та наприкінці діапазону найменшого переміщення рухомого вимірювального стрижня нутроміра.

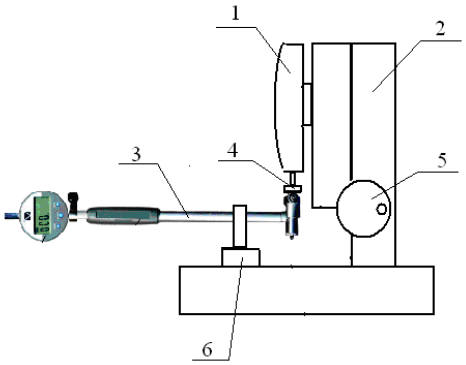
Найбільше з отриманих значень визначає вимірювальне зусилля нутроміра.

8.4.2 Зусилля центруючого мостика нутроміра (для нутромірів з центруючим мостиком) визначають аналогічно за допомогою стенда випробувального з динамометром, спостерігаючи переміщення центруючого мостика в межах його робочого ходу.

Вимірювальне зусилля нутроміра та зусилля центруючого мостика повинні відповідати вимогам,

зазначеним в таблицях 1 та 5.

Вимірювальне зусилля нутроміра та зусилля центруючого мостика нутромірів типу НИ, виготовлених по СТП МК 15.11.038-1 МТУ (Табл.6, 7) повинні відповідати вимогам, зазначеним в таблиці 5.



1 – динамометр; 2 – стенд; 3 – нутромір; 4 - накінечник динамометра; 5 -маховик стенда; 6 - пристрій для затиску нутроміра

Рисунок 3

8.5 Визначення радіуса сфери вимірювальних поверхонь стрижнів

Радіус сфери вимірювальних поверхонь стрижнів контролюють на універсальному мікроскопі за допомогою профільної радіусної голівки (Рис.4). При цьому тіньовий контур вимірювальних поверхонь нутроміра поєднують з профілем радіусу кривизни, нанесеним на сітці мікроскопу.

Радіуси сфер повинні відповідати вказаним у таблиці 10.

Таблиця 10

Діапазон вимірювань, мм	від 3 до 18	від 18 до 50	від 50 до 100	від 100 до 1000
Радіус сфери, мм, не більше	3	8	22	40

Рисунок 4 - Поле зору радіусної голівки

8.6 Визначення діапазону переміщення вимірювального стрижня

8.6.1 Діапазон переміщення вимірювального стрижня нутромірів з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,01 мм контролюють безпосередньо по шкалі відлікового пристрою нутроміра.

Відліковий пристрій встановлюють в корпус нутроміра до упору. По відліковому пристрою встановлюють нульове показання. Натискають на рухомий вимірювальний стрижень та приводять його в крайнє положення, що відповідає найбільшому переміщенню стрижня та знімають показання по відліковому пристрою.

Найменше переміщення вимірювального стрижня має бути не менше, зазначеного в таблицях 1 і 5.

Найменше переміщення вимірювального стрижня нутромірів типу НИ та НИЦ, виготовлених по СТП МК 15.11.038-1 МТУ (Табл.6, 7) повинні відповідати вимогам, зазначеним в таблиці 5.

8.6.2 Переміщення вимірювального стрижня нутромірів з відліковими пристроями типу МИГ (багатооборотні індикатори) або МИГЦ (індикатори з цифровим відліковим пристроєм) з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм, 0,002 мм та 0,005 мм визначають безпосередньо по шкалі відлікового пристрою.

У разі використання в якості відлікового пристрою важільно- зубчастої головки типу 1ИГ або 2ИГ

переміщення вимірювального стрижня нутроміра визначають по індикатору годинникового типу, встановленого замість важільно-зубчастої головки.

Найменше переміщення вимірювального стрижня визначають за методикою, викладеною в 8.6.1.

Найменше переміщення вимірювального стрижня має відповідати вимогам, зазначеним в таблицях 1 і 5.

8.7 Визначення розмаху показань

8.7.1 Розмах показань нутромірів контролюють з будь-якої вимірювальної вставкою за допомогою пристосування для калібрування нутромірів або машини оптико-механічної для вимірювання довжини ИЗМ, на яких визначають абсолютну похибку нутромірів.

При контролі нутромірів НИ з аналоговим відліковим пристроєм та нутромірів НИЦ з цифровим відліковим пристроєм відліки знімають відповідно до методики, викладеної в 8.8.

Встановлюють 10 разів одне і теж показання нутроміра або ЗВТ, що використовуються під час калібрування, підходячи до точки з однієї і тієї ж сторони.

При контролі абсолютної похибки нутромірів за допомогою еталонних кілець або кінцевих мір довжини (блоків кінцевих мір довжини) з боковиками виробляють десятикратне вимірювання кілець або кінцевих мір довжини.

Розмах показань визначають як різницю найбільшого та найменшого показань нутроміра або ЗВТ, що використовується під час калібрування.

Розмах показань нутромірів не повинен перевищувати значень, вказаних в таблицях 3, 5 та п.3.6.

8.8 Визначення абсолютної похибки

Абсолютну похибку нутроміра визначають за допомогою наступних ЗВТ:

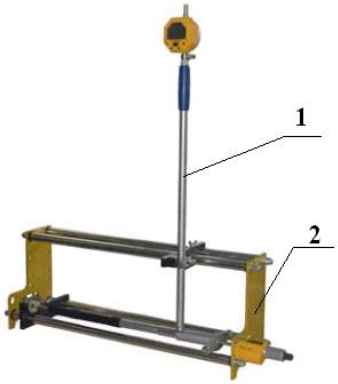
- пристосування МІКРОТЕХ з мікрометричною головкою;
- машина вимірювальна оптико-механічна;
- еталонні кільця;
- міри довжини кінцеві плоскопараллельні.

8.8.1 Визначення абсолютної похибки нутроміра типу НИ та НИЦ з аналоговим та цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,005 мм та 0,01 мм

8.8.1.1. Абсолютну похибку нутромірів типу НИ та НИЦ з аналоговим та цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,005 мм і 0,01 мм з нижнім діапазоном вимірювання не більше 450 мм контролюють на пристосуванні МІКРОТЕХ з ціною поділки 0,01 мм порівнянням показань нутроміра з показаннями мікрометричної головки (рис.5).

Нутромір, що контролюється, встановлюють в пристосуванні таким чином, щоб вимірювальний стрижень нутроміра був співвісний мікрометричному гвинту голівки. У початковому положенні проводять попереднє переміщення вимірювального стрижня нутроміра не менше, ніж на 0,05 мм.

Стрілку аналогового відлікового пристрою нутроміра встановлюють на нульовий штрих шкали за допомогою пристрою для точного встановлення на нульову позначку (для нутромірів типу НИ) або проводять обнуління кнопкою скидання показань (для нутромірів з цифровим відліковим пристроєм типу НИЦ).



1 – нутромір; 2 – пристосування з мікрометричною голівкою

Рисунок 5

При контролі нутроміра індикаторного НИ з аналоговим відліковим пристроєм з ціною поділки 0,005 мм та 0,01 мм мікрометричний гвинт пристосування переміщують з інтервалом відповідно до таблиці 11 та проводять відлік по відліковому пристрою нутроміра при прямому ході вимірювального стрижня нутроміра.

При контролі нутроміра індикаторного НИЦ з дискретністю відліку 0,005 мм і 0,01 мм за допомогою мікрометричного гвинта пристосування встановлюють показання по відліковому пристрою нутроміра з інтервалом відповідно до таблиці 11. Відлік знімають по мікрометричному гвинту пристосування.

Ділянки ходу вимірювального стрижня, на яких визначають похибку в межах 1 мм та в межах 0,1 мм, вибирають на підставі результатів визначення похибки нутроміра на всьому діапазоні вимірювань. Ці ділянки, що відповідають переміщенню в 1 мм та 0,1 мм, повинні містити найбільшу алгебраїчну різницю відхилень в показаннях в порівнянні з іншими ділянками.

У кожній точці, що калібрується, вимірювання проводять не менше 10-ти разів.

Середнє арифметичне з відліків $a_{ср}$ приймають за показання нутроміра в даній точці:

$$a_{cp} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} a_i$$

де n – кількість відліків;

a_i – i- ий відлік по відліковому пристрою.

За похибку нутроміра приймають:

- суму найбільших абсолютних значень позитивних та негативних показань на будь-якої ділянці діапазону вимірювань, що контролюється, якщо відхилення контрольованих інтервалів мають різні знаки;

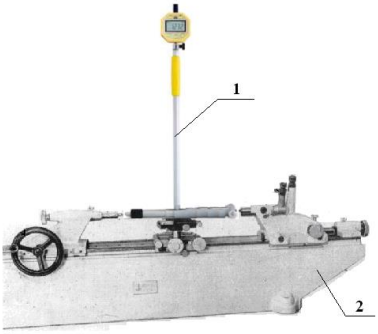
- найбільше позитивне або негативне показання, якщо відхилення контрольованих інтервалів мають однакові знаки.

Таблиця 11

<table>
<tr><td rowspan="2">Діапазон вимірювань нутроміра, мм</td><td colspan="2">Переміщення вимірювального стрижня нутроміра на величину нормованого найменшого значення з ціною поділки (дискретністю відліку), мм</td><td colspan="3">Інтервали, через які виробляють визначення похибки, мм</td></tr>
<tr><td>0,001мм
0,002 мм</td><td>0,005 мм
0,01 мм</td><td>в межах переміщення вимірювального стрижня</td><td>на будь-якій ділянці в 1 мм</td><td>на будь-якій ділянці в 0,1 мм</td></tr>
<tr><td>3-4; 4-6</td><td colspan="2">-</td><td>0,05</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>6-10</td><td colspan="2">0,6</td><td rowspan="2">0,05</td><td rowspan="2">-</td><td rowspan="2">0,02</td></tr>
<tr><td>10-18</td><td>0,7</td><td>0,8</td></tr>
<tr><td>18-35; 18-50; 35-50</td><td rowspan="3">1,0</td><td rowspan="2">1,5</td><td rowspan="2">0,1</td><td rowspan="2">0,1</td><td>0,02</td></tr>
<tr><td>50-100</td><td>-</td></tr>
<tr><td>50-160; 100-250;160-250; 250-450; 250-600; 250-800; 400-800</td><td>2,4</td><td>0,3</td><td>0,1</td><td>-</td></tr>
<tr><td>700-1000</td><td>5,0</td><td>7,0</td><td>0,5</td><td>0,1</td><td>-</td></tr>
</table>

8.8.1.2 Абсолютну похибку нутромірів індикаторних типу НИ і НИЦ з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,005 мм і 0,01 мм з нижнім діапазоном вимірювань понад 450 мм контролюють на машині вимірювальної оптико-механічної з використанням плоских наконечників (рис.6).

Нутромір, що контролюється, закріплюють на предметному столі машини таким чином, щоб вимірювальний стрижень нутроміра був співвісний наконечникам вимірювального стрижня пиноли та трубки оптіметра машини.



1 – нутромір; 2 - машина вимірювальна оптико-механічна

Рисунок 6

При контролі нутроміра НИ з аналоговим відліковим пристроєм мікрометричний гвинт машини переміщують з інтервалом відповідно до таблиці 11 та здійснюють відлік по відліковому пристрою нутроміра при прямому ході вимірювального стрижня нутроміра.

При контролі нутроміра НИЦ з цифровим відліковим пристроєм за допомогою мікрометричного гвинта машини встановлюють показання по відліковому пристрою нутроміра, що відповідають контрольованому інтервалу, відповідно до таблиці 11. Відлік здійснюють за шкалою трубки оптіметра машини.

Ділянки ходу вимірювального стрижня нутромірів з діапазоном вимірювання понад 450 мм, на яких визначають похибку в межах 1 мм, вибирають відповідно до методики, зазначеної вище.

У кожній точці, що калібрується, вимірювання проводять не менше 10-ти разів.

Середнє арифметичне з відліків $a_{ср}$ приймають за показання нутроміра в даній точці:

$$a_{cp} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} a_i$$

де n – кількість відліків;

a_i – i- иї відлік по відліковому пристрою.

За похибку нутроміра приймають:

- суму найбільших абсолютних значень позитивних та негативних показань на будь-якої ділянці діапазону вимірювань, що контролюється, якщо відхилення контрольованих інтервалів мають різні знаки;
- найбільше позитивне або негативне показання, якщо відхилення контрольованих інтервалів мають однакові знаки.

Абсолютна похибка нутромірів з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,005 мм та 0,01 мм повинна бути не більше, зазначеної в таблицях 2, 4, 6, 7.

Дані спостережень, отримані при визначенні абсолютної похибки, заносять в протокол (Додаток А) та використовують при розрахунку стандартної невизначеності за типом А (Додаток Б).

8.8.2 Визначення абсолютної похибки нутромірів типу НИ і НИЦ з аналоговим і цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм і 0,002 мм

8.8.2.1 Визначення абсолютної похибки нутромірів типу НИ з аналоговим і НИЦ з цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм і 0,002 мм на пристосуванні МІКРОТЕХ з мікрометричною головкою.

Абсолютну похибку нутромірів типу НИ і НИЦ з аналоговим і цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки 0,001 мм і 0,002 мм з нижнім діапазоном вимірювання не більше 450 мм визначають на пристосуванні МІКРОТЕХ з мікрометричною головкою з ціною поділки 0,001 мм, з похибкою не більше 1 мкм (рис .5) через інтервали, зазначені в таблиці 11.

Установку нутроміра в пристосуванні проводять відповідно до методики, описаної в 8.8.1.1.

Нутромір закріплюють в пристосуванні і встановлюють відліковий пристрій на позначку «+50» мкм (для головки 1ИГ) або «+100» мкм (для головки 2ИГ), на пристосуванні встановлюють нульове показання. У нутроміра з цифровим індикатором МИГЦ здійснюють обнулення показання індикатора.

При калібрування нутромірів з аналоговими відліковими пристроями 1ИГ або 2ИГ на пристосуванні встановлюють значення інтервалів, що калібруються, і знімають відлік по відліковому пристрою нутроміра.

При калібруванні нутромірів з цифровим індикатором МИГЦ по відліковому пристрою нутроміра встановлюють значення інтервалів, що калібруються і знімають відлік по пристосуванню.

8.8.2.2 Визначення абсолютної похибки нутромірів типу НИ з аналоговим і НИЦ з цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм і 0,002 мм за допомогою еталонних кілець.

Нутроміри індикаторні типу НИ з важільно-зубчастої головкою 1ИГ, 2ИГ або НИЦ з цифровим індикатором МИГЦ з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм і 0,002 мм з нижнім діапазоном вимірювання не більше 160 мм контролюють за допомогою еталонних кілець, діаметри яких вказані в таблиці 12 .

Таблиця 12 в міліметрах

<table>
<tr><th rowspan="2">Діапазон вимірювань нутроміра</th><th colspan="2">Номінальні діаметри еталонних кілец для визначення</th><th rowspan="2">Номінальні розміри кінцевих мір довжини (блоків кінцевих мір довжини) для визначення абсолютної похибки нутроміра</th></tr>
<tr><th>абсолютної похибки нутроміра</th><th>похибки центрування (для нутромірів з центруючим мостиком)</th></tr>
<tr><td>від 3 до 3,6</td><td>3,3; 3,25; 3,27; 3,33; 3,35</td><td>3,3</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 3,6 до 5,1</td><td>4,3; 4,25; 4,27; 4,33; 4,35</td><td>4,3</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 5,1 до 7,0</td><td>6; 5,95; 5,97; 6,03; 6,05</td><td>6,0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 7,0 до 10,0</td><td>8,3; 8,25; 8,27; 8,33; 8,35</td><td>8,3</td><td></td></tr>
<tr><td>від 10,0 до 14,5</td><td>12; 11,9; 11,93; 11,95; 12,05; 12,07; 12,1</td><td>12,0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 14,5 до 18</td><td rowspan="2">18,0; 17,90; 17,93; 17,95; 18,05; 18,07; 18,10</td><td>18,0</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">від 18,0 до 50,0</td><td rowspan="2">30,0; 50,0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>50,0; 49,90; 49,93; 49,95; 50,05; 50,07; 50,10</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 50,0 до 100,0</td><td rowspan="2">100,00; 99,90; 99,95; 100,05; 100,10</td><td>50,0; 100,0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 100,0 до 160,0</td><td>100,0; 160,0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 50,0 до 160,0
від 160,0 до 250,0</td><td>160,00; 159,90; 159,95; 160,05; 160,10</td><td>160,0; 250,0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>від 250 до 450</td><td rowspan="3">-</td><td rowspan="3">250,0</td><td rowspan="3">250; 249,9; 249,95; 250,05; 250,10</td></tr>
<tr><td>від 250 до 600</td></tr>
<tr><td>від 250 до 800</td></tr>
<tr><td>від 400 до 800</td><td>-</td><td>-</td><td>400,0; 399,9; 399,95; 400,05; 400,10</td></tr>
<tr><td>від 700 до 1000</td><td>-</td><td>-</td><td>700,0; 699,9; 699,95; 700,05; 700,10</td></tr>
<tr><td colspan="4">Примітка. Допускається застосовувати еталонні кільця інших діаметрів, значення яких забезпечують контроль нутромірів в межах діапазону вимірювань нутроміра і діапазону вимірювань відлікового пристрою.</td></tr>
</table>

Нутромір встановлюють на нульові покази в позначеному перетині, в середньої робочої частини еталонного кільця, розмір якого дорівнює першому розміру у відповідному рядку таблиці 12. Потім відраховують показання нутроміра при вимірюванні інших еталонних кілець, зазначених в таблиці 12. Похибку нутроміра визначають за відхиленням різниці показань нутроміра від різниці дійсних діаметрів відповідних еталонних кілець.

8.8.2.3 Абсолютну похибку нутромірів типу НИ і НИЦ з аналоговим і цифровим відліковим пристроєм з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм і 0,002 мм з нижнім діапазоном вимірювання понад 250 мм контролюють за допомогою кінцевих мір довжини (блоків кінцевих мір довжини) з боковиками в точках, зазначених в таблиці 12.

Нутромір встановлюють на нульове показання по кінцевої мірі довжини (блоку кінцевих мір довжини), розмір якої дорівнює першому розміру у відповідному рядку таблиці 12. Потім відлічують показання нутроміра при вимірюванні інших кінцевих мір довжини (блоків кінцевих мір довжини).

Похибку нутроміра визначають по відхиленням різниці показань нутроміра від різниці дійсних розмірів кінцевих мір довжини (блоків кінцевих мір довжини).

Абсолютна похибка нутромірів типу НИ і НИЦ з аналоговим і цифровим відліковим пристроєм

з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм і 0,002 мм не повинна перевищувати значень, вказаних в таблицях 3 і 4.

Визначення абсолютної похибки нутромірів будь-якіх типів на довжиномірі Labconcept LABC 1000 проводять відповідно до інструкції щодо експлуатування довжиноміра.

У кожній точці, що калібрується, вимірювання проводять не менше 10-ти разів.

Обчислюють середнє арифметичне відліків $a_{ср}$ в даній точці:

$$a_{cp} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} a_i \ ,$$

де n – кількість відліків;

a_i – i- иї відлік по відліковому пристрою нутроміра.

Різниця між середнім арифметичним значенням відліків $a_{ср}$ та дійсним значенням плоскопараллельной кінцевої міри довжини *l* приймають за абсолютну похибку нутроміра в даній точці діапазону вимірювання:

$$\Delta = a_{ср} - l.$$

Максимальне по модулю з отриманих значень Δ приймається за абсолютну похибку нутроміра.

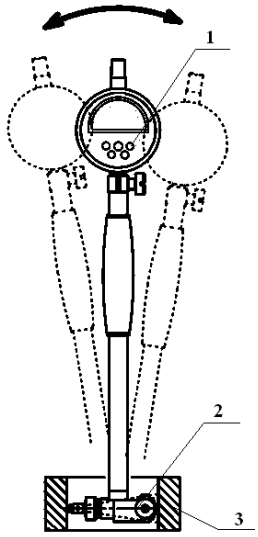
Абсолютна похибка нутромірів не повинна перевищувати значень, зазначених в таблицях 3 і 4.

Дані спостережень, отримані при визначенні абсолютної похибки, заносять в протокол (Додаток А) та використовують при розрахунку стандартної невизначеності за типом А (п. 8.10).

8.9 Визначення похибки центрування нутроміра, що вноситься неточним розташуванням центруючого мостика (для нутромірів з центрируючим мостиком)

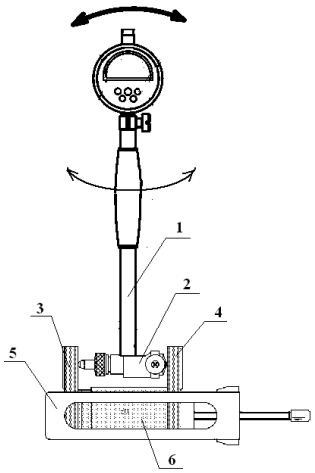
8.9.1 Похибка центрування нутромірів, що вноситься неточним розташуванням центруючого мостика, контролюють по атестованому кільцю та блоку кінцевих мір довжини з боковиками (Рис.7) на нижній межі діапазону вимірювання.

Для нутромірів з ціною поділки або дискретністю відліку 0,005 мм та 0,01 мм використовують установчі кільця, для нутромірів з ціною поділки або дискретністю відліку 0,001 мм та 0,002 мм – еталонні.



а)

1 – нутромір; 2 - центруючій мостик;
3 - кільце



б)

1 – нутромір; 2 - центруючій мостик;
3,4 – боковики; 5 - державка; 6 - блок кінцевих мір довжини

Рисунок 7

Нутромір вводять в атестоване кільце, знаходять мінімальний діаметр в осьовій площині та встановлюють нутромір на нульовий відлік (перший відлік). Потім нутромір переносять в блок кінцевих мір довжини з боковиками та визначають мінімальний відлік індикатора при похитуванні нутроміра в двох взаємно перпендикулярних площинах. Знімають другий відлік.

Відхилення різниці двох відліків, яка вимірюється нутроміром, від різниці дійсних розмірів кільця та блоку кінцевих мір довжини (з урахуванням відхилень їх розмірів від номінального значення)

визначає похибку центруючого мостика.

Проводять триразову установку нутроміра по кільцю та блоку кінцевих мір довжини з плоскопараллельнимі боковиками, обчислюючи кожен раз похибку центруючого мостика. Обчислюють середнє арифметичне значення, яке має відповідати вимогам, зазначеним в таблицях 3, 4 та п. 3.5.

8.9.2 Похибка центрування, що вноситься неточним розташуванням центруючого мостика у нутромірів з верхнім діапазоном вимірювання понад 250 мм, допускається контролювати на універсальному мікроскопі. При цьому визначають розташування опорних поверхонь центруючого мостика щодо осі вимірювального стрижня. Для цього необхідно розібрати центруючий мостик, встановити його на предметний стіл мікроскопа паралельно повздовжньому або поперечному переміщенню каретки та виміряти відстань від опорних поверхонь центруючого мостика до осі посадочного отвору.

Допуск симетричності розташування опорних поверхонь щодо осі посадочного отвору не повинен перевищувати 0,5 мм для нутромірів з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,01 мм і 0,25 мм для нутромірів з ціною поділки (дискретністю відліку) 0,001 мм, 0,002 мм та 0,005 мм.

Похибка центрування, що вноситься неточним розташуванням центруючого мостика нутромірів, виготовлених по СТП МК 15.11.038-1 МТУ (табл.6, 7) повинна відповідати вимогам, зазначеним в таблиці 4.

8.9 ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

8.9.1 Складання рівняння вимірювань

Рівняння вимірювань виражає залежність між вихідною Y та вхідними $X_1,\ldots,Xn$ величинами:

$$Y= f (X_1,\ldots,Xn)$$

До вхідних величин відноситься безпосередньо величина, яка вимірюється за допомогою еталонного ЗВТ. При цьому оцінюється різниця між значенням вимірюваної величини та значенням еталонного ЗВТ. Також в рівняння вимірювань входять величини, що впливають, значення яких та їх невизначеності відомі з зовнішніх джерел.

$$\mathrm{Y} = x_i - x_{em} + \sum_{i=1}^{n} \Delta_i \text{ , де}$$

x_i - результат одного незалежного вимірювання;

x_{em} - значення відміток застосовуваного для калібрування ЗВТ;

Δ_l - величини, що впливають.

8.9.2 Оцінка стандартної невизначеності типу А

8.9.2.1 Невизначеність типу А обчислюють як стандартну невизначеність u_A, яка обумовлена джерелами невизначеності, що мають випадковий характер при виконанні вимірювань.

8.9.2.1.1. Обчислюють середнє арифметичне результатів вимірювань і-ї вхідної величини

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \ ,$$

де x_i – значення i-ї вхідної величини;

n – кількість вимірювань.

8.9.2.1.2 Обчислюють стандартну невизначеність u_A типу А як середнє відхилення результату вимірювання (середнього арифметичного) вхідної величини за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

8.9.3 Оцінка стандартної невизначеності типу В

8.9.3.1 Невизначеність за типом В обчислюють як стандартну невизначеність величини, що впливають, яка обумовлена джерелами, що мають систематичний характер.

8.9.3.2 Величини, що впливають:

- Δ_s – поправка, що враховує невизначеність вимірювання приладів або еталонної міри при калібруванні;

- Δ_n – поправка, що враховує невизначеність відхилення віміток приладів або еталонної міри від номінального значення;

- Δ_t – неточність вимірювання, яка обумовлена різницею температур навколишнього повітря від нормальної - не більше 0,5 границі основної похибки на кожні 10 °С зміни температури;

- Δ_m – вплив механічних ефектів;

- Δ^* – неточність, яка обумовлена ціною поділкі або дискретністю відліку нутроміра;

8.9.3.3 Оцінка невизначеності величин, які впливають

8.9.3.3.1 Стандартна невизначеність u (Δ_s), яка обумовлена оцінкою поправки вимірювання приладів або концевіх мір довжини при калібруванні:

$$u(\Delta_s) = U/k,$$

де: U - розширена невизначеність, згідно з сертифікатом про калібрування приладів або концевіх мір довжини;

k - коефіцієнт охоплення, згідно з сертифікатом про калібрування приладів або концевіх мір довжини.

8.9.3.3.2 Стандартна невизначеність u (Δ_n) відхилення віміток приладів або еталонної міри від номінального значення

$$u(\Delta_n) = = \frac{\Delta_n}{\sqrt{3}}$$

Δ_n - відхилення віміток приладів або еталонної міри від номінального значення (вказується в сертифікаті про калібрування).

8.9.3.3.3 Невизначеність, яка обумовлена різницею температур навколишнього повітря від нормальної (не більше 0,5 границі допустимої похибки на кожні 10 ºС зміни температури)

$$u(\Delta_t) = \frac{\Delta_t}{\sqrt{3}} \ ,$$

де Δ_t - температурна похибка, яка обумовлена різницею температур навколишнього повітря від нормальної

$$\Delta_t = \frac{t_1 - t_2}{10} 0{,}5\Delta \ ,$$

де t_1 – температура навколишнього повітря;

t_2 - нормальна температура;

Δ –похибка нутроміра, мкм.

8.9.3.3.4 Невизначеність, яка обумовлена ціною поділкі або дискретністю відліку нутроміра

$$u(\Delta^*) = \frac{q}{2\sqrt{3}},$$

де q – ціна поділки шкали або дискретність відліку нутроміра.

8.9.3.3.5 Невизначеність, яка обумовлена впливом сумарних механічних ефектів

$$u(\Delta_m) = \frac{\Delta_m}{\sqrt{3}},$$

де Δ_m – сумарні механічні ефекти.

$$\Delta_m = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} S_i^2}$$

S_1 – розмах показань нутроміра;

S_2 – похибка центруючого мостика нутроміра.

8.9.4 Визначення коефіцієнта чутливості

Коефіцієнти чутливості c_i показують як оцінка вихідної величини y змінюється зі зміною оцінок вхідних величин x_i. Коефіцієнти чутливості визначають як похідні вихідної величини до кожної з вхідних величин

$$(c_i = \partial y_i / \partial x_i)$$

При прямих вимірюваннях коефіцієнти чутливості є рівними 1.

8.9.5 Сумарна стандартна невизначеність за типом В складає:

$$u_B = \sqrt{\Sigma[c_i(u^2(x_i)]}$$

де $u(x_i)$ – стандартна невизначеність за типом В i-тої величини, що впливає;
c_i – коефіцієнт чутливості.

8.9.6 Сумарна стандартна невизначеність u_C:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

8.9.7 Визначення коефіцієнта охоплення

Коефіцієнт охоплення представляє собою множник, на який множать стандартну сумарну оцінку невизначеності для отримання стандартної невизначеності. У разі нормального закону розподілу ймовірностей коефіцієнт охоплення приймається рівним 2 для рівня довіри 0,95.

8.9.8 Оцінка розширеної невизначеності

$$U = k \cdot u_c$$

де k – коефіцієнт охоплення.

Коефіцієнт охоплення для нормального закону розподілення k = 2 для рівня довіри p = 0,95.

8.9.9 Порядок складання бюджета невизначеності вимірювань

Аналіз невизначеності вимірювання (бюджет невизначеності) містить список вхідних величин, їх оцінок зі стандартними невизначеностями вимірювання, законами їх розподілу та числом ступенів свободи.

Для невизначеності типу А, отриманої з багатократних повторних спостережень, число ступенів свободи Vi на одиницю менше числа проведених спостережень Vi $=n_i$-1. Для невизначеності типу В число ступенів свободи дорівнює безкінечності (∞).

Вхідна величина, X_i	Оцінка вхідної величини x_i	Тип невизначе-ності	Число ступенів свободи	Коэф. чутл. $c_i=dy/dx_i$	Розподілення ймовірностей	Вклад в сумарну невизначеність, $u_i(y)$
Випадкова складова	$\bar{x}$	А	n-1	1	Нормальний закон	u_A
Невизначеність ви-мірювання приладів або еталонних мір довжини при калібруванні	Δ_s	В	∞	1	Нормальний закон	$u(\Delta_s)$
Відхилення позначок приладу або еталонної міри від номінального значення	Δ_n	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_n)$
Різниця температури навколишнього повітря від нормальної	Δ_t	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_t)$
Сумарні механічні ефекти	Δ_m	В	∞	1	Рівномірний закон	$u(\Delta_m)$
Ціна поділки нутроміра	Δ*	В	∞	1	Рівномірний закон	u(Δ*)
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначе-ність	-	Коефіці-єнт охоп-лення	Рівень довіри	Розширена невизначеность
Y	y	u_c	-	2	p=0,95	U

8.9.10 Представлення невизначеності вимірювань в сертифікатах про калібрування

Представлення невизначеності вимірювань в сертифікатах про калібрування проводиться відповідно до ILAC-P14:09/2020

$$(y \pm \boldsymbol{U}),$$

де y – оцінка вихідної величини.

Зазначена розширена невизначеність встановлена як стандартна невизначеність вимірювання, помножена на коефіцієнт охоплення $k = 2$, який відповідає рівню довіри 0,95.

Примітка. При оцінювання невизначеності вимірювань ЗВТ враховуються конкретні величини, що впливають, характерні для даного типу ЗВТ та робочих еталонів, що використовуються при калібруванні.

Приклад оцінювання невизначеності нутроміра наведен у додатку Б.

9 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАЛІБРУВАННЯ

Результати калібрування оформлюються протоколом калібрування та сертифікатом про калібрування (Додаток А1).

ЛИСТ РЕЄСТРАЦІЇ ЗМІН

Зм.	Номери листів (сторінок)				Всього листів (сторінок) в докум.	№ докумен ту	Входящий № сопроводит. документа и дата	Підпис	Дата
	змінених	замінених	**нових**	анульова-них					

Додаток А1

МІКРОТЕХ
ВИРОБНИК ВИСОКОЯКІСНОГО ІНСТРУМЕНТУ З 1995 року

4К051
ДСТУ ISO/IEC 17025:2006

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification

4К051
ДСТУ ISO/IEC 17025:2006

СЕРТИФІКАТ ПРО КАЛІБРУВАННЯ
CERTIFICATE OF CALIBRATION

Номер сертифікату
_____
Certificate number

Дата реєстрації
Date of registration

.___20___р. Сторінка 1 з 2
Page 1of 2

Дата калібрування
Date of calibration

___.___.20_____р.

Найменування, тип та заводський номер устаткування
Name, type and serial number of equipment

_____

Тип _____

Діапазон вимірювання від _____ мм до _____ мм

Виробник _____

Заводський номер

Замовник
Customer

Метод калібрування
Method of calibration

Методика калібрування

Всі вимірювання мають простежуваність до одиниць Міжнародної системи SI, які відтворюються національними еталонами ННЦ «ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЇ».
Цей сертифікат може бути відтворений тільки повністю. Будь-яка публікація або часткове відтворення змісту сертифікату можливі лише з письмового дозволу ПНВП «МІКРОТЕХ».
All measurements are traceable to the SI units which a re realized by national measurement standards of NMI.
certificate shall not be reproduced, except in full. Any publication extracts from the calibration certificate requires written approval of MICROTECH

Особа, що затвердила сертифікат
Person approving the certificate _____

Директор, к.т.н.
МП Official stamp

СПУ.М.СЯ.Ф013:2016